فضولية العلم

سيرل أيدون







فُضوليّة العِلم

سيرل أيدون

فضولية العلم

ترجمة
أحمد مغربي



Cyril Aydon, *Scientific Curiosity*

الطبعة العربية

الطبعة الأولى ٢٠٠٧

ISBN 978-1-85516-675-2

دار الساقي
بناية تابت، شارع أمين منيمنة (نزلة السارولا)، الحمراء، ص.ب: ١١٣/٥٣٤٢ بيروت، لبنان
الرمز البريدي: ٦١١٤ _ ٢٠٣٣
هاتف: ٣٤٧٤٤٢ (٠١)، فاكس: ٧٣٧٢٥٦ (٠١)
e-mail: alsaqi@cyberia.net.lb

مركز البابطين للترجمة
الكويت، الصالحية، شارع صلاح الدين، عمارة البابطين رقم ٣
ص.ب: ٥٩٩ الصفاة رمز ١٣٠٠٦، هاتف: ٢٤٣٠٥١٤

المحتويات

الأرض



عـالم الأحيــاء



الكتلــة والطاقــة

ماهيــة المــادة

مكتشفــون علميــون

مركز البابطين للترجمة (*)

«مركز البابطين للترجمة» مشروع ثقافي عربي مقره دولة الكويت، يهتم بالترجمة من اللغات الأجنبية إلى العربية وبالعكس، ويرعاه ويموّله الشاعر عبد العزيز سعود البابطين، في سياق اهتماماته الثقافية وضمن مشروعاته المتعددة العاملة في هذا المجال.

ويقدم المركز هذا الإصدار ضمن سلسلة الكتب الدورية المترجمة إلى العربية والتي يضعها أمام القارئ مساهمة منه في رفد الثقافة العربية بما هو جديد ومفيد وإيماناً بأهمية الترجمة في التنمية المعرفية وتعزيز التفاعل بين الأمم والحضارات.

وإذ يحرص «مركز البابطين للترجمة» على اختيار هذه الكتب وفق معايير موضوعية تحقق الغايات النبيلة التي أنشئ لأجلها وتراعي الدقة والإضافة العلمية الحقيقية، فمن نافل القول أن أي آراء أو فرضيات واردة في هذه الكتب وتم نقلها التزاماً بمبدأ الأمانة في النقل فإنما تعبر حصراً عن وجهة نظر كاتبها ولا تلزم المركز والقائمين عليه بأي موقف في أي حال من الأحوال، والله الموفق.

(*) للمراسلة والتواصل مع المركز: tr2@albabtainprize.org

تنويه

تعاونت أيادٍ كثيرة في صنع هذا الكتاب. وأدين بشدة لجيم هونيبون الذي قرأ كل كلماته المطبوعة، إضافة إلى تلك التي أزالتها انتقاداته المُدقّقة. قرأ مايك فينر وديبورا وسو أيــدون وجين هونيبون مقاطع من الكتاب، وأرغموني على إعادة التفكير في مقاصدي منه. زودتني جين بوتون، مسؤولة المكتبة في مدرسة وارينر في بلوكسهام، بمؤشرات مفيدة. وأشعر بامتنان خاص لزوجتي جويس لمساندتها الشخصية ولخبرتها التقنية، واضطلع الأمران كلاهما بدور أساسيّ في صنع الكتاب. بين كثيرين لم ألتقهم شخصياً، أدين بالشكر لإسحق عظيموف، الذي سهّل مؤلفه «إنسكلوبيديا مكتبية للعلوم والتكنولوجيا» مهمة صنع الكتاب بشكل كبير.

يمثّل كتاب «فضولية العلم» مغامرتي الثانية في مجال تبسيط العلم. شكّل كتابي عن سيرة تشارلز داروين المغامرة الأولى. وظهر إلى النور بفضل مؤازرة ناشرتي كارول أوبراين، من دار كونستابل وروبنسون. يصعب تخيّل ناشر أشد حكمة وأكثر دعماً منها. لذا، أعتبر نفسي محظوظاً لاستفادتي من نصائحها أثناء كتابة هذا المؤلف. وقبل تقاعدها، أسدت إليّ خدمة أخيرة عندما قدمتني إلى هيلين أرميتاج التي أشرفت على إنتاج الكتاب. تولّت كلوديا داير وبنيلوبي إسحق مراجعة النص النهائي، وقدمتا ملاحظات قيّمة.

فضولي العلمي

في يوم ماطر، أثناء طفولتي، احتبست في المنزل، وقررت تمضية الوقت بقراءة كتاب. احتوى منزلنا على الكثير من كتب المغامرات والقصص البوليسية، من جراء استعارتها، مع عدم الإعادة، من المكتبات القريبة. ولكن كتب المنزل ضمّت أيضاً «مُرشد هامرسوورث الذاتي» المُكوّن من عدّة كتيبات نُشرت أسبوعياً، وجمعها عمّي بدأب على مدار سنوات. ضمّ ذلك المُرشد كُتيبات عن النقش وصنع الملابس وطرائق حفظ الكتب، لكنه احتوى أيضاً أجزاء عن علوم الفلك والجيولوجيا والتاريخ الطبيعي. عندما اكتشفتها، في ذلك اليوم، كانت معلوماتها قديمة. وأما بالنسبة إلى طفل يتعرف للمرة الأولى على تلك الأشياء، فقد بدا الأمر أشبه بفرك مصباح علاء الدين السحري.

ومثّل الأمر أيضاً بداية لحياة من الانجذاب إلى تاريخ العلم. وبنظرة استرجاعية، أدركت أن أياً من أساتذتي، حينذاك، لم يمتلك فكرة عن المخزن السري من المعلومات غير المدرسية الذي وقع بين يدي، ولم يخطر لي البتة أن أخبرهم عنه.

سارت دراستي الأكاديمية لاحقاً خارج الإطار العلمي. لكن انجذابي نحو تاريخ العلم لم يبارحني، ومنحني دوماً لذّة هائلة. يُشكّل هذا الكتاب محاولة لرد الجميل عبر إعادة رواية بعض قصص العلم الشيّقة، وعرض بعض المعلومات العلمية البارزة عن الكون الذي نعيش فيه، والتي اكتشفها العلماء بجهد.

يمكن قراءة هذا الكتاب على نحو تقليدي، واعتباره مدخلاً لفهم ٢٠٠٠ سنة من الاكتشاف العلمي. وآمل أن يجد بعض القرّاء، ممن يفضلون استخدامه مرجعاً، ما يبحثون عنه.

لا يفترض الكتاب وجود معلومات علمية مسبقة لدى قُرّائه. ولا ترد فيه سوى المُعادلة التي صاغها آينشتاين عن الكتلة والطاقة (الطاقة تساوي الكتلة مضروبة بمربع السرعة)، ومن دونها لا يستقيم تاريخ للعلم.

الأعداد الستينية: السبب الوحيد لاعتماد الأعداد العشرية أن الأيدي تحتوي على عشر أصابع. لا شيء مميزاً في العدد ١٠، عدا ذلك.

يُجري الكومبيوتر عمليات العد اعتماداً على رقمين، لأن ذلك يتلاءم وطبيعة عملها. قبل ٤ آلاف سنة، استعمل أهالي بابل الأعداد الستينية. وكتبوا الرقم ١٥٠، مثلاً، بصورة ll <<< (ستينتان وثلاث عشرات).

وكقاعدة للعد، امتلك الرقم ستين الكثير من الصفات المهمّة. إذ يقبل القسمة على ٢ و٣ و٤ و٥، بل إنه الرقم الوحيد تحت الـ ١٢٠ الذي يقبل تلك القسمة.

ويُسهل ذلك استعماله في قياس الأشياء التي يُراد تقسيمها إلى أجزاء صغيرة. لم تكن الساعة عند أهل بابل، كمثل الساعة عندنا، لكنهم أول من قسّمها إلى ستين دقيقة مُقسّمة إلى ستين ثانية. وكذلك كانوا أول من قسّم الدائرة إلى ٣٦٠ درجة (٦٠×٦)، والدرجة إلى ستين دقيقة.

من عيوب استعمال الأعداد الستينية، بدلاً من العشرية، العبء الذي تلقيه على الذاكرة. ومن الأسهل حفظ جداول الضرب من واحد إلى عشرة، من حفظ جداول الضرب الطويلة للأعداد الستينية، وصولاً إلى ٦٠ × ٦٠. وحاول البابليون تسهيل الأمر عبر تدوينها في جداول متراصة، لكنها جعلت من الحساب أمراً مُعقّداً.

طاليس من ميلتوس: وُلد العلم الغربي على يد الإغريق القدماء، وفي المُدن الإغريقية التي انتشرت في البحر الأبيض المتوسط. واعتبر الإغريق أن علومهم بدأت مع الفيلسوف طاليس.

وُلد في مدينة ميلتوس على الساحل الإيجي من آسيا الصغرى، في العام ٦٢٤ ق. م. وتُوفيّ في العام ٥٤٦ ق. م. ويصعب تحديد أي من انجازاته كان من بنات أفكاره، وكم منها اكتسبت خلال رحلات طاليس إلى مصر وبلاد آشور. أما مُعاصروه فقد صنعوا قائمة لـ«الرجال الحكماء السبعة»، وجعلوا طاليس في مقدّمهم.

اهتمّ بمجالات متنوعة. وضع أول دراسة معروفة عن الخواص المغناطيسية. وأرسى

اللبنات الأولى لنظام الإغريق الاستنباطي في علم الرياضيات، ممهّداً بذلك لظهور أعمال إقليدس، بعد قرنين. روى الفيلسوف أرسطو الذي جاء بعد طاليس بكثير، قصتين مثيرتين عنه، بغض النظر عن صحتهما.

فبالاستجابة إلى التحدي القديم القائل: «إن كنت ذكياً، فَلِمَ لسْتَ غنياً؟» دخل طاليس في مجموعة من العقود عن معاصر الزيتون، بغية استئجارها ببدل رخيص، في الأوقات التي دلته دراسته إلى احتمال حصول مواسم ذات محاصيل وافرة.

وعندما تحققت توقّعاته، أجّر تلك المعاصر ببدل مرتفع . وتُخبر القصة الثانية (التي ربما يُستحسن أن تورد في مناهج تدريس إدارة الأعمال) أنه وقع في حفرة أثناء تحديقه في النجوم.

فيثاغورس وأفكاره الغرائبية: وُلد فيثاغورس الذي عاصر طاليس لكنه أصغر عمراً، في العام ٥٦٠ ق. م، في جزيرة ساموس، على مسافة غير بعيدة من ميلتوس. ولا يزال حاضراً إلى الآن بنظريته عن حساب أضلاع المثلث ذي الزاوية العمودية. قبلاً، ولمئات السنين، هيمنت أعماله على تفكير علماء الرياضيات، وكذلك الفلاسفة.

معروف أن عباقرة كثراً امتلكوا أفكاراً خرافية غرائبية، لكنها ساهمت في إنضاج رؤاهم اللامعة. لكن بعضاً من خرافات طاليس يصعب ابتلاعه. فقد حرّم على تلامذته أكل الفاصولياء، لأنه اعتقد بأن تلك الحبوب، حين تزرع لأربعين يوماً وتُسمّد جيداً، تُعطي نبتة ذات شكل بشري! وآمن باستنساخ الأرواح، بحيث اعتقد بأن روح رجل ما، ربما أتت، في زمن ماض، من حياة عاشها كقنديل بحر.

ولربما قادت معتقداته تلامذته إلى التخبّط في الخرافات، أما رؤاه في الرياضيات والفلك، فقد دان لها بالفضل أجيال من العلماء. لقد جعل من الرياضيات نظاماً منطقياً موحّداً، بدلاً من أن تكون مجموعة متناثرة من القواعد عن حالات متفرقة. كما أنه أول من عُرف عنه الاعتقاد بأن الأرض ذات شكل كروي.

فلم يكن عند البابليين ولا المصريين ولا الإغريق الأوائل، فكرة عن الشكل الفعلي

للأرض. واعتقد هوميروس بأنها قرص مُحدودب يحيط به نهر. وآمن بعض معاصري فيثاغورس بأنها تشبه الطبق المُسطّح المحمول على ظهر أربعة فيلة تقف على ظهر سلحفاة.

وسواء صحّ القول بأنه أول من تعرّف إلى حقيقة شكل الأرض أم لا، فإن فيثاغورس أدخل إلى علم الفلك صورة الكرة المُعلّقة في الفضاء، والتي مثّلت أساس التقدّم في العلم.

حققت مدرسته إنجازاً لافتاً للنظر باكتشافها الأسس الرياضياتية للأنغام الموسيقية. ولاحظ كثيرون أن الأوتار القصيرة تُعطي أنغاماً أعلى من الطويلة.

واكتشف فيثاغورس العلاقة الرياضياتية بين طول الوتر والنغمة التي يُصدرها، بحيث تؤدي مضاعفة طول الوتر إلى خفض الصوت بمقدار أوكتاف. وإذا كانت النسبة بمقدار ٣ إلى ٢، فإن النغمة تنخفض إلى الخُمس وهكذا.

أرسطو: تتمثّل إحدى المشكلات مع المفكرين الكبار، بأن أفكارهم تتملّك العقول مدة طويلة بعد وفاتهم، حتى أنهم قد يعوقون ظهور أفكار جديدة. تلك حال أرسطو. فلمدة ٢٠٠٠ سنة بعد وفاته، دأب الدارسون على حسم جدالاتهم بسؤال: «ما الذي قاله أرسطو عن هذا الموضوع؟» وُلد في شمال اليونان في العام ٣٨٤ ق. م.، لأبٍ عمل طبيباً لدى أمينتاس، ملك مقدونيا. بين السنّ الـ ١٧ والـ ٣٧ عاماً، عاش في أثينا، عضواً في أكاديميتها، باعتباره التلميذ اللامع للفيلسوف أفلاطون. بعد وفاة الأخير، سافر اثنتي عشرة سنة.

في العام ٣٤٢ ق. م.، حين بلغ الـ ٤٢ سنة، استدعاه فيليب الثاني، خليفة أمينتاس، ليُدرّس ابنه الذي أصبح لاحقاً الإسكندر الكبير.

بعد ٦ سنوات، اغتيل فيليب، وخلفه الإسكندر ملكاً. وسرعان ما انطلق ليغزو العالم. وعاد أرسطو إلى أثينا. وأسّس مدرسته الخاصة: ليسيوم.

اهتمّ أرسطو بمجمل التجربة الإنسانية، بما فيها العلم والمنطق والأخلاق والسياسة والنقد الأدبي. حقق إنجازاته الكبرى في مجال التاريخ الطبيعي. ويمكن اعتباره من كبار علماء البيولوجيا تاريخياً. وتفوق تصنيفه للافقاريات (حيوانات لا تمتلك هيكلاً عظمياً)، على ذلك الذي وضعه لينيوس بعد ألفي سنة! درس بتنبّه ٥٠٠ نوع حيواني.

وشرَّح ٥٠ منها، فعُدَّ هذا أمراً مثيراً عند الإغريق الذين اشتهروا بإعراض السادة منهم عن العمل الشاق.

ووضع تصميماً لتراتبية الأشكال الحيّة، ورسم فيه «سلسلة الكائنات»، بالتدرّج من الأشكال الدنيا إلى العليا.

ولم يقده ذلك إلى دعم نظرية التطور التي مال إليها نفر قليل من معاصريه. وبالنسبة إليه، فإن جوهر العوالم الحيّة والجامدة تمثّل في نقصها الكمال.

ولسوء الحظّ، أثّر أرسطو بقوة في نظرة الأجيال التالية إلى الفلك. وبسببه، راجت فكرة أن الكون مؤلف من كريات سماوية تتشارك في نقطة المركز عينها، أي الأرض، بحيث تدور جميع أفلاك السماء حول ذلك الكوكب الذي ترتبط به الشمس والقمر وسائر الكواكب.

ثبت تاريخياً أن الإفلات من تلك الصورة أمر صعب، بحيث عوَّقت فكرة أرسطو عن الكون، ولمئات السنين بعد وفاته، التفكير على نحو واضح عن طبيعة الكون.

وحين نشر نيكولاس كوبرنيكوس تصوّره عن الفلك، والذي جعل فيه الشمس مركزاً تدور حوله الأرض، استمر في وضع الأفلاك حول ذلك المركز على طريقة أرسطو. وفي المقابل، يمكن الدفاع عن أرسطو بالقول إن تلك المُشكلة تسبب بها أتباعه اللاحقون به، وخصوصاً أنهم حرّفوا الكثير من مفاهيمه.

رغم كونه عالماً طبيعياً كبيراً، فلم يكن دليلاً موثوقاً به، كما بيّنت الأجيال التالية له. فقد اعتقد بثقة أن عدد الأسنان عند النساء أقل مما لدى الرجال. ولا نعرف مصدر ذلك الخطأ، ألأنه عدّ أسنان زوجته، أم لأنه لم يستطع إتمام ذلك؟

المُستكشِف بيثياث: عاش بيثياث في بلدة ماسيليا، وهي مارسيليا المُعاصرة، في القرن الثالث قبل الميلاد وفي أيامه، أحاط الإغريق البحر المتوسط بمستعمراتهم، وإحداها ماسيليا. تمرّس بيثياث بالرحلات.

ولاحقاً، اعتمد الجغرافيون على أعماله بقوة. ولعيون معاصريه، بدت أوصافه للبلاد

الغريبة حافلة بالمبالغات. ولأنهم لم يعرفوا سوى بلدان المتوسط، فقد اعتبروا أوصافه من أوهام الخيال. ولسوء الحظ، فإن عمله الأشهر «عن المحيط» لم يعش. ويرجع ما نعرفه عن كتاب بيثياث وأوصافه إلى ما نقله الآخرون.

في إحدى سفراته الجريئة، تجوّل بيثياث في سواحل شمال شرق أوروبا. وزار بريطانيا، حيث التقط مشاهداته عن المشروبات المصنوعة من العسل والشعير.

كذلك زار بلداً سمّاه «تول» («تولاي»)، وربما قصد به النروج. عوّقه الضباب عن الاستمرار في الإبحار نحو الشمال، فمال برحلاته صوب بحر البلطيق وصولاً إلى ميناء «فيستولا».

وأحد الأمور التي ساهمت في عدم تصديقه من معاصريه، وصف بيثياث بحراً راكداً في الشمال نتيجة «مزيج من الهواء والأرض والماء»، لكن أحداً من معاصريه لم يكن أليفاً مع الجليد، لذا بدا الوصف عصياً على التصديق.

لم يكن بيثياث مجرد مُستكشِف، بل كان عالماً حقيقياً. تمثّل أحد إنجازاته المهمة في شروحه عن المدّ، ولم تكن تلك الظاهرة معروفة لمعاصريه الذين سكنوا البحر المتوسط شبه الساكن. ونَسَبَ بيثياث المدّ إلى أثر جاذبية القمر، فزاد هذا من صورته كعالم.

وتعيّن على العالم انتظار كتاب إسحق نيوتن «برينكيبيا» (عام ١٦٨٧) ليتأكد له صدق تفسير بيثياث للمدّ.

القمر والمدّ: لا يحتكر القمر التأثير في المدّ. تلعب الشمس دوراً في تلك الظاهرة. وتؤثر جاذبية القمر في إحداث المدّ بمقدار ضعفَي ما تؤثر جاذبية الشمس. ويبدو الأمر غريباً، قياساً على الفرق بين قوتَي الجاذبية في الشمس والقمر. ولتفسير ذلك، يُشار إلى أن المدّ يحدث نتيجة الفرق بين أثر الجاذبية على الأرض وأثرها على سطح الماء. وبسبب قرب القمر من الأرض، فإنه يجذب سطح الماء بقوة، في حين لا يؤثر في الكتلة الكبيرة للأرض إلا تأثيراً ضئيلاً. وفي المقابل، تُمارس جاذبية الشمس تأثيراً قوياً ومُتساوياً على

الاثنين معاً. يحدث مدّ عظيم في الجانب الأقرب إلى القمر من الأرض، كما يحدث مدّ موازٍ في الجانب المعاكس له.

لذا، تشهد معظم الأماكن مدّين كبيرين في اليوم. ويبدو كأن المدّ يطوف بالأرض على مدار الساعة، أما ما يحدث واقعياً فهو أن الأرض تدور حول نفسها دوراناً يجعل المدّ يتنقل بين شواطئها.

يدور القمر دورة كاملة حول الأرض مرّة كل أربعة أسابيع. وفي كثير من الأماكن، يحدث مدّ مميز مرة كل أسبوعين، أي كلما صار القمر بدراً تاماً أو عاود الظهور في أول الشهر، لأن القمر والأرض والشمس تكون على خط واحدٍ تقريباً، فترفع جاذبيّتا القمر والشمس ماء البحار في الاتجاه نفسه. ويحدث مدّ أقلّ قوّة في الأسبوعين الأول والأخير من الدورة القمرية. وعندئذ، تتقاطع جاذبية القمر في زاوية قائمة مع جاذبية الشمس.

ويحدث مدّ استثنائي، عندما يكون القمر بدراً أو هلالاً في أوقات الاعتدالين الربيعي والخريفي، في مارس / آذار وسبتمبر / أيلول. ويرجع ذلك إلى تقاطع مدار القمر، خلال الاعتدالين، مع مدار الأرض حول الشمس، مما يجعل تلك الأجرام الثلاثة في خط مستقيم كلياً.

يعتمد علو المدّ وتكراره على جغرافيا الشاطئ أيضاً. ففي ميناء ساوثبورت الإنجليزي، يحدث المدّ ٤ مرات يومياً. ولا تشهد بعض شواطئ الصين سوى مدّ واحد في اليوم. يسجّل أعلى مدّ (نحو ١٥ متراً) في خليج فندي، في نوفاسكوتشيا. وعلى العكس منه، فإن الفرق بين المدّين العالي والمنخفض لا يكاد يُلاحظ في البحر المتوسط، وكذلك في بعض جُزر المحيط الهادئ، إذ إنه لا يتجاوز نصف المتر.

جارنا القمر: يُشكّل القمر أقرب جيراننا. ومقارنة بالشمس، أو بالكواكب السيّارة الأخرى، يبدو القمر شديد القرب. تبعد الشمس ١٥٠ مليون كيلومتر من الأرض.

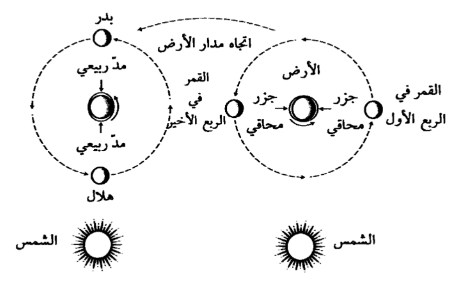
ويبلغ متوسط بُعد القمر عنا نحو ٣٨٥ ألف كيلومتر. ولأن القمر يتبع مداراً إهليلجياً (يُشبه البيضة) حول الأرض، فإن تلك المسافة تراوح فعلياً بين ٣٥٠ الفاً و٤٠٠ الف

كيلومتر. يبلغ قطر القمر ٣٥٠٠ كيلومتر، ويُساوي ربع نظيره في الأرض البالغ ١٢٧٠٠ كيلومتر. يُشبه القمر مرآة عملاقة، ويدين للشمس بضوئه الذي يعكس ضوءها من سطحه الصخري. هذا لا يشكل مرآة كافيّة. ولا يعكس سوى ٧ في المئة من ذلك الضوء.

ولأن الشمس قوية الضياء، وعندما يكون بدراً، يبعث القمر بـ ٧ في المئة من نور الشمس إلى الأرض، عابراً أكثر من ثلث مليون كيلومتر في الفضاء.

يُعطي القمر دائماً الوجه عينه للأرض، لأن الوقت الذي يستغرقه في الدوران حول نفسه، ٢٧,٥ يوماً، يُساوي الزمن الذي يلزمه ليدور حول الأرض. ليست مجّرد مُصادفة. إنها نتيجة ملايين السنين من التفاعل بين جاذبيتي الكوكبين. ولا يُقدّم القمر الوجه عينه تماماً للأرض، لأنه يخضع لأثر حركة اهتزازية تُسمّى الترجُّح. وبسببها، ترى الأرض قرابة ٦٠ في المئة من وجه القمر على نحو دائم، في حين يظل الباقي محجوباً عنها.

تُقدّر الفترة الفاصلة بين هلالين جديدين بنحو ٢٩,٥ يوماً، وليس ٢٧,٥ يوماً. السبب في ذلك دوران الأرض أيضاً حول الشمس، فيما القمر يدور حولها. ولذا، يلزم القمر يومان إضافيان ليصل إلى النقطة التي يُصبح فيها على خط واحد مع الشمس والأرض.



الشكل١: القمر والمدّ.

يُصبح القمر هلالاً وبدراً عندما يكون في خط واحد مع الأرض والشمس. يصل المدّ إلى ارتفاع كبير في أول الشهر القمري وآخره، لأن جاذبيّتي الشمس والقمر تعملان على زاوية عمودية، ولا تجذبان في الاتجاه نفسه.

دوران الأرض حول نفسها: يبطّئ الاحتكاك بين المدّ وقعر المحيط سرعة دوران الأرض حول نفسها. لذا، فإن النهار يتطاول باستمرار، وبمعدل واحد في الألف من الثانية كل قرن. ثمة مبدأ في الفيزياء يُسمّى «قانون حفظ قوة الدفع» الذي يوجب على القمر أن يبتعد عن الأرض، كلما تباطأت سرعة دوران الأخيرة حول نفسها. ويحدث ذلك فعلياً بمعدل ٤ سنتيمترات في السنة. ربما لا يبدو ذلك كثيراً، لكنه أمر مستمر منذ زمن سحيق، يعني أن القمر والأرض ربما كانا أكثر قرباً في الماضي، عندما كانا يدوران بسرعة أكبر حول نفسيهما. ولا يُعرف إذا كان الجرمان جسماً واحداً في غابر الزمان. ومن غير المؤكد أن القمر وُلد بأثر من حادث ارتطام كوني.

الساعات الدقيقة: الأشياء الصغيرة تتجمّع لتُكوّن أشياء أكبر منها. ويحتوي كل قرن على ثلاثين ألف يوم.

ويزيد اليوم على اليوم المقابل له بعد مئة سنة بمقدار واحد من الألف من الثانية؛ يعني أن أيام القرن تجمع فرقاً من التباطؤ مقداره ثلاثون ثانية. ويقود ذلك إلى أن الساعات التي تُضبط اليوم ستصبح متأخّرة، بعد مئة عام أخرى، بمقدار نصف دقيقة.

ولتجنّب هذا الفارق، تُقدّم ساعات الأرض بمقدار ثانية كل بضع سنوات. قد لا ننتبه لهذا الأمر، لأن التغيير يحصل في الساعات المرجعية التي تُضبط بقية الساعات عليها.

وإضافة إلى هذا التباطؤ، تتغيّر سرعة دوران الأرض قليلاً، نتيجة عوامل قصيرة الأمد. وتحتاج التكنولوجيا الحديثة إلى دقّة عالية، فلا تستطيع الاعتماد على دوران الأرض حول نفسها. ولذا، تعتمد أكثر الساعات دقة راهناً على النبضات في قلب ذرّة السيزيوم.

أرخميدس من سرقسطة: يُعدّ أرخميدس أعظم عالم في الأزمنة القديمة. ويعتبره بعضهم الأعظم على مرّ العصور. ولد في سرقسطة، بصقلية، في العام ٢٨٧ ق. م. وحينذاك، كان لسرقسطة تاريخ مدني يمتد نحو ٥٠٠ سنة، وحازت قوة واستقلالاً، وامتد دورها إلى كثير من مناطق الشمال الإيطالي.

يؤثر عن أرخميدس أنه الشخص الذي قفز من الحمّام، وركض عارياً وصائحاً «وجدتها!» («يوريكا!» باللاتينية). لم يكتشف الصابون، بل قانون طفو الأجسام: المبدأ الذي يشرح لماذا لا تغرق السفن المصنوعة من الحديد. ربما جاءته الفكرة في الحمّام، لكن لا دلائل تثبت بقية القصة.

كان رجلاً أرستوقراطياً (ابن فلكيّ مُقرّب من الملك)، والأرجح أنه كان أكثر لياقة من أن يقوم بما تصفه تلك القصة من جريه عارياً على مرأى من الجميع.

لعل ما يميّز أرخميدس من سائر علماء عصره، أنه نبغ في الرياضيات وبرع في الهندسة أيضاً.

فقد أرسى أُسُس علم الميكانيكا، بما في ذلك المبادئ التي تتحكّم بأعمال الروافع والبكرات. وفي الكثير من اكتشافاته، يصعب معرفة إذا جاء النجاح من رؤيته كعالم رياضيات، أم من دربته كمهندس متمرّس. ويؤثر عنه القول الشهير: «أعطني مكاناً لأقف عليه، لكي أحرّك الأرض». ورغم أهمية الكثير من ابتكاراته الميكانيكية، لم يعرها أرخميدس سوى القليل من الأهمية. ونظرياً، لم يترك مُدوّنات شخصية عنها. وأولى اهتمامه فعلياً لأعماله في الرياضيات التي كرّس معظم كتاباته لها.

ويمثّل علم الهندسة أهم إنجاز لأرخميدس. وبين المسائل التي استطاع حلّها، تبرز تلك التي تتعلق باحتساب مساحة الأشكال المقوّسة. وتوصل إلى حساب دقيق عن النسبة التقريبية. ومنذ عصره، دخل علم الهندسة في ثورة علمية. كما أرسى أُسس علوم الميكانيكا والإحصاء والهيدروليكا.

وظن كثيرون أنه لو امتلك نظاماً متطوراً في الرموز الرقمية، لاستطاع أن يسبق إسحق نيوتن في اكتشاف حساب التفاضل والتكامل.

لقي أرخميدس حتفه على يد جندي روماني؛ إذ انقلب حاكم «سرقسطة» على حليفته روما، وتحالف مع القائد هينبعل الآتي من قرطاجة. أرسل الرومان أسطولاً لمهاجمة «سرقسطة»، وحاصروها ثلاث سنوات، ثم سقطت.

اضطلعت الآلات التي ابتكرها أرخميدس بدور في صمود تلك المدينة. وأصدر القائد

الروماني مارسيلوس أوامره القاضية بعدم التعرض بالأذى لأرخميدس، إشارة إلى احترامه علم ذلك العبقري. لكن الجندي الذي نفَّذ الأمر ضاق ذرعاً ببطء استجابة أرخميدس، الذي كان مشغولاً بحل مسألة رياضية مُعقّدة، فقتله.

في العام ١٤٥٣، بعد وفاة أرخميدس بنحو ١٧٠٠ سنة، سقطت مدينة متوسطية أخرى، القسطنطينية، في يد قوة غازية. إذّاك، غادرت ثلة من علماء يونان تلك المدينة إلى الغرب، حاملة معها كنوزاً من المعارف اليونانية. ضمّت تلك الكتب بعضاً من أعمال أرخميدس.

وفي ما يُشبه المعجزة، وقعت تلك الكتب المُهرّبة في يد عالم الفلك الألماني ريجيومونتانوس الذي بادر إلى إدراجها في برنامج للترجمة استمر بعد موته. وبهذه الطريقة الغريبة، نجت أعمال أرخميدس وشكّلت جزءاً من الأسس التي ارتكزت عليها الثورة العلمية التي انطلقت في القرن السادس عشر مع كوبرنيكوس وغاليليو.

لماذا تطفو السفن الحديد؟: يمثّل مبدأ أرخميدس أحد أسهل القوانين العلمية على الفهم. وينص على أن كل جسم يُغمر في سائل، فإنه يزيح كمية تُساوي حجمه من السائل الذي غُمر فيه. تغرق قضبان الحديد، لأن وزن الماء الذي تزيحه أقلّ من وزنها. وتطفو سفينة الحديد، لأنها تزيح كمية كبيرة من الماء (بمقدار حجمها) يزيد وزنها على وزن السفينة. ويعطي الماء دفعاً إلى الأعلى يوازي قوة شد الجاذبية.

أسماء النجوم: ابتدأ علم الفلك تاريخياً عندما شرع الإنسان في إعطاء أسماء للنجوم وتجمّعاتها. تأتي بعض الأسماء التي نستعملها راهناً للإشارة إلى تلك التجمعات من أصل يوناني، مثل «كوكبة الجبّار» و«ذات الكرسي» وغيرهما. لكن الإغريق أعطوا أسماء لرسوم تجمّعات في السماء، لوحظت قبلهم بكثير. فقد رصد علماء الفلك في بلاد ما بين النهرين، أي العراق الحديث، تلك الرسوم النجمية.

وراقب الإغريق ٤٨ تجمّعاً نجمياً. ولم يستطيعوا رصد السماء الجنوبية. ويُراقب علماء الفلك راهناً ٨٨ تجمّعاً نجمياً.

تشكّل النجوم أجساماً حقيقية، لكن التجمّعات لا وجود لها إلا في عقول الناس. إنها هوامات مُضللة. قد تبدو نجمتان متقاربتين، مثلاً، في حين أن إحداهما أبعد بكثير من الأخرى. تبدو نجوم كثير متجاورة، لأنها تقع في الاتجاه نفسه.

ثمة مثال جيّد عن ذلك الأمر هو التجمّع الذي يُسميه الإنجليز «المحراث»، ويشير اليه الأميركيون باسم «الدب القطبي الكبير». ويبعد النجم في يد المحراث بمقدار الضعفين عن الأرض، من النجم التالي له! بعض نجوم المحراث ينتمي إلى مجموعة مُعينة، في حين أن الأخرى لا ترتبط معها بأي صلة! بعد بضعة آلاف السنوات، ستتباعد تلك النجوم تباعاً، بحيث لا يصبح شكل المحراث موجوداً في السماء.

الكواكب السيّارة الحائمة: في كل مرة تدور الأرض حول الشمس، تحتل بعض التجمعات النجمية مواقع متغيّرة، بالنسبة إلى من يرصدها ليلاً. لا تتغيّر مواقع النجوم في تلك التجمعات، لذا تبقى صورة التجمّع ثابتة.

ثمة استثناء من هذا الثبات، وقد رصده علماء الفلك منذ القدم، ويتمثّل في: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، زُحل. وتعاود المجموعات ظهورها سنوياً، وتبدو تلك الأجرام وقد تحركت من أمكنتها في السماء. أشار الإغريق إلى تلك الأجرام باسم الكواكب السيّارة أو الحائمة. ولاحقاً، بعد ابتكار التيليسكوبات القوية واستخدامها فلكياً، أُضيف اليها ثلاثة كواكب سيّارة أخرى: أورانوس (١٧٨١) ونبتون (١٨٤٦) وبلوتو (١٩٣٠)*، فارتفع المجموع إلى ثمانية كواكب سيّارة.

أما سائر النجوم فإنها ثابتة، واعتقد القدماء أنها مثبتة في كرات بلورية.

تُشع النجوم الثابتة بضوئها الخاص الذي يأتي من داخلها. وعلى رغم أسمائها، فإنها

* عند الشروع في ترجمة الكتاب وطبعه، تغيّر وضع بلوتو، إذ قرر علماء الفلك أخيراً إزالته من قائمة الكواكب السيّارة، فاقتضى التنويه (المترجم).

تتحرّك بسرعة كبيرة، لكنها، كسفن بعيدة في أفق البحر، تبدو ساكنة لأنها بعيدة جداً عن الأرض.

وتدور الكواكب السيّارة، ومنها الأرض، حول الشمس. ولأن سائر الكواكب السيّارة التي تدور حول شمسنا قريبة نسبياً، فإننا نراها في السماء، بحيث يتغيّر موقعها بين عام وآخر، وأحياناً بصورة شهرية. وتُشعّ الكواكب السيّارة بسبب النور الذي يأتيها من الشمس، وتعكسه الينا كأنها مرايا عملاقة.

التنجيم وعلم الفلك: في الأزمنة الخالية، لم يُفرّق بين التنجيم وعلم الفلك. ففي مصر وآشور، دُرِست حركات الأجرام السماوية اعتقاداً بأنها تؤثر في مصائر البشر. وبذا، حاز دارسوها تقديراً عالياً.

وفي اليونان القديمة، اعتُقِد أن التنجيم يؤثر في حياة الأفراد. وتحمّس العرب للتنجيم، واحتفظوا بعلوم اليونان في هذا المجال. وفي القرون الوسطى، خالط التنجيم ظلٌّ ثقيل، لأن الكنيسة لم تُجزه. وسرعان ما تغلب الميل إلى نبش علوم اليونان، مما أنعش علم التنجيم. ثم جاء كوبرنيكوس وصحبه، ليقنعوا الناس بأن الأرض تدور حول الشمس.

وقالوا إن النجوم أجرام قصيّة. وبات من الصعب التمييز بين «علم» يصف الشمس بأنها «في برج الأسد»، وآخر يصفها بأنها «تدخل في كوكبة القوس والرامي».

وبات صعباً أيضاً تصديق علم يدّعي أنه يعرف المستقبل انطلاقاً من المواقع النسبية لكواكب تبعد ملايين الكيلومترات. استمر بعضهم في درس التنجيم. وبحلول العام ١٧٠٠، انفصل علم الفلك عن التنجيم الزائف. وراهناً، يعتبر التنجيم جزءاً من صناعة الترفيه. ويبدو مستقبله آمناً، ما دام قادراً على زيادة مبيعات الجرائد.

مسارات في دائرة الأبراج: خلال النهار، تبدو الشمس وكأنها تتحرّك من الشرق إلى الغرب. إنها لا تفعل ذلك. وإذ تدور الأرض حول نفسها، من الغرب إلى الشرق، تبدو الشمس وهماً وكأنها تسير من الشرق إلى الغرب. ومن يدأب في درس الشمس بعد

الغروب مباشرة، عندما تشرع النجوم في الظهور، يُلاحظ أنها تحتلّ أمكنة مختلفة في السماء، تتنقل بينها خلال السنة. ويسمّى المسار السنوي للشمس «دائرة الأبراج».

ولا يزيد أمر ذلك المسار، كحال تجمعات النجوم، على كونه وهماً بصرياً خالصاً. وما يحدث فعلياً هو أن الأرض تدور حول الشمس، كطفل يُشارك في احتفال دائري مُدوِّخ. وتزيغ عيناه.

وينظر الشخص إلى الشخص الواقف في منتصف الحفل الدائري، وكأنه يتحرك على خلفية الأشياء التي تدور في الخلف. ويحتل ذلك الشخص المحوري، الذي يشبه موقع الشمس الثابتة بالنسبة إلى الأرض، أمكنة مختلفة في هذه المشهدية الدائرية الفوّارة. وللسبب عينه، يبدو للرائي الأرضي وكأن الشمس تتحرك على خلفية ملأى بالنجوم. تلك هي دائرة الأبراج.

ولأن القمر يدور، في تلك الأثناء، حول الأرض، ولأن الكواكب السيّارة تدور أيضاً حول الشمس على مسطح واحد، تبدو الكواكب والقمر وكأنها تتبع مدار دائرة الأبراج أيضاً.

دائرة الأبراج: تمثّل دائرة الأبراج فلكياً تلك المجموعات الكثيرة من النجوم التي تكوّن خلفية المشهد الذي تبدو الشمس، لراصديها من الأرض، وكأنها «تتحرك» على خلفيته، أي تُبدّل موقعها فضائياً، خلال السنة. وتبدو الكواكب السيّارة التي تدور في مسطح واحد حول الشمس بمدارات مختلفة، وكأنها تتنقل عبر تلك الدائرة أيضاً. تنقسم تلك الدائرة إلى ١٢ مجموعة (أو برجاً)، لا تزال تحتفظ بأسمائها الإغريقية. وتملك أسماء مثل الأسد والثور والسرطان، التي يفترض أنها تعكس مظهرها من الأرض. تتألف تلك الدائرة من الأبراج الآتية، مع تواريخ «دخول» الشمس اليها ومغادرتها إياها:

برج الحمل	٢١ آذار (مارس) ـ ٢٠ نيسان (إبريل).
برج الثور	٢١ نيسان (إبريل) ـ ٢١ أيار (مايو).

برج الجوزاء	٢٢ أيار (مايو) ـ ٢١ حزيران (يونيو).
برج السرطان	٢٢ حزيران (يونيو) ـ ٢٣ تموز (يوليو).
برج الأسد	٢٤ تموز (يوليو) ـ ٢٣ آب (أغسطس).
برج العذراء	٢٤ آب (أغسطس) ـ ٢٣ أيلول (سبتمبر).
برج الميزان	٢٤ أيلول (سبتمبر) ـ ٢٣ تشرين الأول (اكتوبر).
برج العقرب	٢٤ تشرين الأول (اكتوبر) ـ ٢٢ تشرين الثاني (نوفمبر).
برج القوس	٢٣ تشرين الثاني (نوفمبر) ـ ٢٢ كانون الأول (ديسمبر).
برج الجدي	٢٣ كانون الأول (ديسمبر) ـ ٢٠ كانون الثاني (يناير).
برج الدلو	٢١ كانون الثاني (يناير) ـ ١٩ شباط (فبراير).
برج الحوت	٢٠ شباط (فبراير) ـ ٢٠ آذار (مارس).

وبسبب ظاهرة الدقة، أي ذلك الفرق الطفيف في احتساب الوقت نتيجة تباطؤ الأرض، فإن علامات دائرة الأبراج الموروثة منذ أزمنة قديمة، لم تعد تنطبق على مواقع الشمس في السماء.

ففي معظم الفترة بين ٢١ آذار (مارس) و٢٠ نيسان (إبريل)، تكون الشمس في برج الحوت وليس الحمل.

مقاييس نجمية: تشاهد العين المُجردة نحو ٦٠٠٠ نجم، ويمكن رؤية ألفين منها من أي نقطة على سطح الكرة الأرضية. يمثّل أكثر النجوم التماعاً الصف الأول منها، بحسب وصف هيباركوس الذي يُعتبر من أبرز علماء الفلك تاريخياً. ولد هيباركوس في شمال غرب تركيا حوالى سنة ١٩٠ ق. م. وبنى مرصداً في جزيرة رودس. وفي العام ١٢٩ ق. م. أنجز أول دليل معروف عن النجوم. وقسّم ما تراه العين المُجرّدة منها إلى ٦ مقاييس، من الأكبر إلى الأصغر. وما زلنا نستعمل هذا التصنيف إلى اليوم.

بعد مئات السنين، في العام ١٨٥٦، بات ذلك الدليل معيارياً، نتيجة جهد عالم الفلك الإنكليزي نورمان بوغسون.

عُرّفت النجوم من المقياس الأول، بحسب بوغسون، بأنها تلتمع ١٠٠ مرة أكثر من نجوم المقياس ٦. وبذا، أصبح كل مقياس يزيد على التالي بمقدار ضعفين و٥١ ضعف. لنلاحظ أن ٢,٥١ × ٢,٥١ ×٢,٥١ ×٢,٥١ ×٢,٥١×٢,٥١= ١٠٠. أن نجماً من المقياس الأول يلتمع أكثر بمرتين ونصف المرّة من نجم من المقياس الثاني، كما أن نجماً من المقياس ٣,٥ يلتمع أكثر بمرتين ونصف من نجم من المقياس ٤,٥. أن نجماً من المقياس صفر أشد لمعاناً بمرتين ونصف من نجم من المقياس الأول، كما أن نجماً من المقياس ناقص واحد، هو أكثر التماعاً بمقدار ضعفين و٥ من نجم من المقياس صفر. تلك المقاييس الظاهرية، كما يُسميها الفلكيون، لا تؤشر إلى حجم النجم، ولا إلى لمعانه.

وتتمتع بعض النجوم اللامعة بحجم استثنائي فعلياً، لكن بعضها يلتمع بسبب دنوه من الأرض. فمثلاً، يتمتع النجم «بيتلغوس» بلمعان قوي وبحجم كبير أيضاً، وينتمي إلى مجموعة «أوريون» وهي من المقياس ٥. وتُصنّف في فئة النجوم التي تُسمى «العملاقة الحمر». ويبلغ من حجمها أنه إذا وُضِعَت الشمس في مركزها، فإن مدار الأرض لا يخرج من محيط النجم «بيتلغوس».

بعض النجوم اللامعة

النجم	المقياس	بُعدها من الأرض
سيريوس	ـ ١,٥	٩ سنوات ضوئية
كانوبوس	ـ ٠,٧	٧٤ سنة ضوئية
أركتوروس	٠	٣٤ سنة ضوئية
كابيلا	٠,١	٤١ سنة ضوئية
ريغل	٠,١	٨١٥ سنة ضوئية
أنتاريس	١	٢٢٠ سنة ضوئية
بولارس (نجم القطب)	٢	٤٣٠ سنة ضوئية

يبهت أي مصدر كوني للضوء بمقدار يلائم مُربع المسافة التي تفصله عمن يراقبه (انظر الشكل ٧). إذا وُضع مصباحان متماثلان حيث يكون أحدهما على مسافة أبعد بمقدار الضعفين، فإن ضوءه يبهت بمقدار ٤ أضعاف. وينطبق الوصف نفسه على النجوم. يظهر النجمان «ريغل» و«كابيلا» بالمقياس عينه من اللمعان.

ولو تساويا في البُعد عن الأرض، لوصل ضوء «ريغل» أكثر قوة بمقدار ٤٠٠ ضعف (٢٠×٢٠)، ذلك أن لمعانه الفعلي أكثر من الشمس بستين ألف ضعف).

السنوات الضوئية: تبعد النجوم بمسافات مذهلة، تستعصي على أرقام حساباتنا العادية. ولذا، ابتكر علماء الفلك مقياساً أسهل هو: السنة الضوئية. تمثّل السنة الضوئية المسافة التي يقطعها النور في سنة. ولأن الضوء يُسافر بسرعة ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية، فإنه يقطع ٩,٥ تريليون (مليون مليون) كيلومتر في السنة.

إذاً، عندما نقول إن النجم «ريغيل» يبعد بمقدار ٨١٥ سنة ضوئية، فإن ذلك يساوي ٨١٥ مضروباً بـ ٩,٥ تريليون كيلومتر! ويوضح ذلك مقدار السهولة التي تنجم عن استعمال السنة الضوئية لقياس أبعاد الكون.

الفصول: تشبه الكرة الأرضية جيروسكوب (أداة لحفظ التوازن وتحديد الاتجاهات) ضخماً.

ويبقى ميل محورها ثابتاً أثناء رحلتها السنوية حول الشمس. وفي جزء من السنة، يميل نصف الأرض الشمالي نحو الشمس، في حين يصبح النصف الجنوبي في الاتجاه البعيد من الشمس.

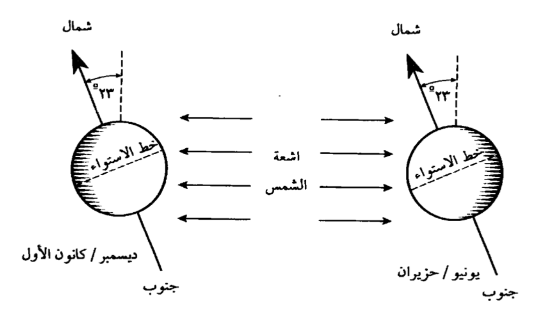
في أوقات أخرى يكون الوضع معكوساً. ولذا، يتغيّر عدد ساعات النهار في أي مكان من الأرض، ومن ثم مقدار ما يصله من حرارة الشمس، على مدار السنة. كلما اقتربنا من القطب، أصبحت تلك الظاهرة أوضح. ولذا، تتمتع المناطق البعيدة من خط الاستواء بفصول تتباين فيها الحرارة بوضوح. ففي ميامي، تحوز أشعة الشمس في منتصف شهر فبراير / شباط، نحو ٨٠ في المئة مما تكون عليه

في يونيو / حزيران. وفي فيربانكس، في ألاسكا، تصل تلك النسبة عينها إلى ٢٠ في المئة فقط.

وبالقرب من الاستواء، لا تظهر تقلّبات الحرارة بوضوح، ويمكن ملاحظة الفرق بين فصل وآخر من كمية الأمطار، وليس من حرارة الشمس التي لا تتغيّر كثيراً.

الوقت الطبيعي: تُخبر قصة الساعات والتقاويم السنوية عن محاولة الإنسان المصالحة بين مفهومين مختلفين: الوقت الطبيعي والوقت المُصطنع. يعتمد الوقت الطبيعي على حركة الشمس والقمر والنجوم. ويرتكز الوقت المُصطنع على اختيار اعتباطي، لا علاقة له بظواهر الفلك.

تُركز نظم التقاويم السنوية التي ابتكرها الانسان على الأيام والشهور والسنوات. وتعكس تلك الأشياء ثلاث ظواهر طبيعية: دورة الأرض حول محورها (التي تولد الليل والنهار)، ودورة القمر حول الأرض (الشهر القمري)، ودورة الأرض حول الشمس (السنة الشمسية).



الشكل ٢: ميل محور الأرض وعلاقته بالفصول.

في ديسمبر / كانون الأول، يتجه النصف الشمالي من الأرض بعيداً عن الشمس. وفي يونيو / حزيران، على القسم الآخر من الكرة الأرضية، يتجه ذلك القسم عينه صوب الشمس.

لم يكن ضرورياً لصُنّاع التقاويم الأولى أن يعرفوا بوجود تلك الحركات أصلاً. وقد اعتمدوا على ملاحظة ما يتولّد من تلك الظواهر الثلاث، مثل شروق الشمس وغروبها، واكتمال القمر واختفائه، ودورة الشمس في السماء.

واهتم علماء الفلك قديماً بتعريف وقياس تلك الظواهر الثلاث، التي تمثل أيضاً وحدات «طبيعية» لقياس الزمن. وبصورة جزئية، صُنعت تماثيل ستونهينغ، بغض النظر عن الهدف من صنعها، بغية التثبت من دقّة حساب طول السنة.

في الحضارات القديمة، عُرِّف اليوم بواسطة حركة الشمس، وبطرق مختلفة. ابتدأ النهار فجراً عند الفراعنة، ورصده المسلمون والبابليون بدءاً من الغروب. وعلى غرار الصينيين القدماء، ابتدأ اليوم عند الرومان، ولاحقاً عند المسيحيين، عند منتصف الليل.

في الأيام التي سبقت الإنارة الاصطناعية، لعب القمر دوراً أكبر في إشعار الناس بمرور الوقت.

كما استخدمت التغيّرات في مظهر القمر باعتبارها تقسيماً «طبيعياً» للزمن. ولسوء الحظ، لم يكن ذلك رقماً مُدوّراً، ولم يتناسب مع عدد أيام السنة الشمسية (٣٦٥ يوماً). وتملك بعض الشهور القمرية أياماً إضافية، أو أن هناك أياماً إضافية لا تنتمي إلى أي شهر.

الوقت الاصطناعي: أعطى اليوم والشهر والسنة إطاراً واضحاً، وربما حتمياً أيضاً، لنُظُم تدوين مرور الزمن. ولكنها لا تنفع كثيراً في الحضارات المتطورة. لا يفيد استعمال اليوم كأساس لعقد الاجتماعات، أو لتنظيم جداول العمل. لم تزودنا الطبيعة بوحدة طبيعية لتحقيق تلك الغاية، لذا عمدت الإنسانية إلى ابتكارها. شكّل ذلك أساساً لمفهوم الساعة. ولأنها وحدة اعتباطية (ثم صارت موضع اتفاق عام)، أُعطيت الساعة تعريفات مختلفة في المجتمعات المختلفة.

مالت معظم الحضارات القديمة إلى تقسيم «اليوم» الذي قيس من مشرق الشمس إلى مغربها، إلى عدد ثابت من الساعات، حيث جعل تلك الوحدات أطول في الصيف مما هي في الشتاء. ولم يُفد ذلك علماء الفلك. وفي القرن الثاني ق.م. أدخل الفلكي اليوناني

هيباركوس مفهوم الساعة الذي ما زلنا نستعمله إلى الآن. وعرّف اليوم باعتباره نصف المدة التي تفصل بين الفجر والغروب أثناء الاعتدالين الربيعي والخريفي، عندما تتعادل فترتا النور والظلام فيه. ومنذ ذلك الحين، عُرّفت ساعة الاعتدال، فصارت قابلة للاستخدام من جانب علماء الفلك، كما باتت مقياساً لضبط الساعات المائية والرملية. وفي الحياة اليومية، استمر تقسيم اليوم إلى وحدات ثابتة العدد لألف سنة أخرى. وتعيّن انتظار ظهور الساعات الميكانيكية في القرن الرابع عشر، لكي يصبح مفهوم هيباركوس عن الساعة شائعاً في أوروبا.

تُشكّل الدقائق والثواني وحدات اعتباطية. وقد ابتكرها هيباركوس، فقسّم الساعة إلى ستين جزءاً، على طريقة البابليين في العدد، ثم قسّم كل جزء إلى ستين وحدة صغيرة. أدّى هذا إلى ظهور نتائج طيبة، عندما تبيّن أن أصغر قسم من وحدات الزمن، أي الثانية، يمثّل الوقت الذي يستريح القلب فيه عند كل دقة.

يُشكّل الأسبوع وحدة أخرى من الزمن الاصطناعي، أو المفهومي، ظهرت في التقاويم منذ ما يزيد على ٣٠٠٠ سنة، وأثبتت صلاحيتها للاستخدامين المدني والديني. ويتمثّل التعريف الأكثر شيوعاً للأسبوع في أنه مؤلف من ٧ أيام، لأن أربعة أسابيع تعطي عدداً من الأيام يُقارب الشهر القمري. وتاريخياً، ظهرت أنواع أخرى من الأسابيع، فقد تألّف الأسبوع الروماني من ٨ أيام.

الأيام والسنوات: اكتشف علماء الفلك مُبكراً وجود مشكلات في التوفيق بين الوحدات الطبيعية للزمن، وهي اليوم والسنة. ولا تُساوي السنة التي تُقاس عبر تغيّر ارتفاع الشمس فوق الأفق أو بعودة ظهور المجموعات النجمية، عدداً صحيحاً من الأيام. وأضف أنّ اليوم بعينه يمكن قياسه بطرق مختلفة.

ويُسمىّ التعريف الراهن لليوم بـ «اليوم الشمسي»، ومقداره الزمن الذي ينقضي لكي تعود الشمس إلى الموقع نفسه بالنسبة إلى أية نقطة على الأرض. ويُقسم اليوم إلى ٢٤ ساعة. وتُنجز الأرض دورانها حول نفسها في ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة و٤ ثوان. وبقول

آخر، تدور الأرض على نفسها ٣٦٦ مرة كل ٣٦٥ يوماً. ويُطلق الفلكيون اسم «اليوم النجمي» على أقصر فترة لدوران الأرض حول محورها، والتي تُقاس بالنسبة إلى النجوم وليس الشمس.

ويرجع السبب في هذا الفرق إلى أن الأرض تقطع جزءاً من ٣٦٥ من دورتها حول الشمس في يوم. وبذا فإنها تعبر مقداراً يساوي حاصل قسمة ٣٦٦ على ٣٦٥ في كل دورة حول نفسها، بالنسبة إلى أية نقطة على الأرض، لكي تعود إلى الموقع نفسه الذي كانت عليه في اليوم السابق.

وبذا، لا تتألف السنة، وهي الفترة التي تلزم الأرض لكي تتم رحلتها السنوية حول الشمس، من ٣٦٥ يوماً شمسياً، بل تتكوّن من نحو ٣٦٥ يوماً وربع اليوم. لذا، نحتاج إلى يوم إضافي (٢٩ فبراير / شباط) كل أربع سنوات (السنة الكبيسة)، لكي يستقيم حساب التقويم السنوي.

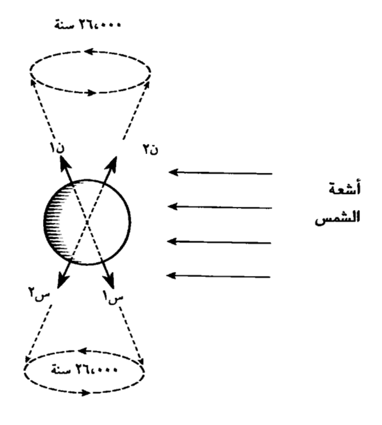
وحتى مع هذه الإضافة، يبقى فرق طفيف، إذ تتكوّن السنة عملياً من ٣٦٥,٢٤٢ يوماً. لذا، فلثلاث مرات كل أربعة قرون، لا نضيف يوماً إلى السنة الكبيسة، كما سيكون الحال في السنوات ٢١٠٠ و٢٢٠٠و٢٣٠٠. أما إذا كانت السنة التي يجب أن نقفز عن إضافة اليوم الكبيس إليها، تقبل القسمة على ٤٠٠، مثل السنة ٢٤٠٠، فإننا نُضيف اليوم الكبيس!

الدقة: تدور الأرض حول نفسها، متخذة وضعاً مائلاً كجنين ينام في رحم أمه. ويمكن رسم خط وهمي يخترق الأرض من القطب إلى القطب، ويمتد في السماء الشمالية، ليرسم دائرة مُعينة بين النجوم. تُسمّى هذه الدورة بـ «الدقة». وقد اكتشفها اليوناني هيباركوس في القرن الثاني قبل الميلاد.

تمثّل الدقة عملية بطيئة. ويلزم ٢٦ ألف سنة لكي يرسم محور الأرض دائرة دقة كاملة بين النجوم. تؤدي تلك العملية إلى تغيير بطيء في موقع نجم الشمال الذي لطالما أرشد المسافرين في القسم الشمالي من الكرة الأرضية، فلا تعود تشير إلى الشمال تماماً.

وتجد الدقة تفسيرها في أمرين: ميل محور الأرض بزاوية مقدارها ٢٣ درجة عن سطح مدارها حول الشمس، وانتفاخ الكرة الأرضية قليلاً عند خط الاستواء.

ويساهم جذب الشمس، وكذلك القمر، لهذا الانتفاخ في صنع ظاهرة الدقة. وتشبه تلك الحركة قُمعَين، وقد قُلِب كل منهما على رأسه، متقاطعين عند نقطة هي مركز الكرة الأرضية. وتتشكل قاعدة كل قُمع من دائرة الدقة التي ترسمها الأرض مرة كل ٢٦ ألف سنة.



الشكل ٣: الدقة: دائرة نوم الأرض.

يرسم محور الأرض دائرة حول محورها، مرة كل ٢٦ ألف سنة.

يشير المحوران ن١ س١ إلى مواقع القطبين في ديسمبر / كانون الأول.

يشير المحوران ن٢ س٢ إلى مواقع ديسمبر / كانون الأول بعد ١٣ ألف سنة.

قياس الكرة الأرضية: بعد أرسطو، انتقل مركز التفكير العلمي الإغريقي إلى الإسكندرية في مصر. وفي العام ٢٠٠ ق.م.، شهدت الإسكندرية أول إنجازات علم الفلك العملي: قياس محيط الكرة الأرضية. ويرجع الفضل فيه إلى إيراتوثينث من «سيرين». ترأس إيراتوثينث مكتبة الإسكندرية التي اعتبرت، حينذاك، أضخم مركز علمي في العالم الغربي.

تميّزت حسابات إيراتوثينث بالدقة والبساطة. فقد سمع أنه يمكن رؤية صورة كاملة لشمس الظهيرة في يوم الانقلاب الصيفي، ٢١ يونيو / حزيران، وقد انعكست مباشرة في قعر بئر في موقع في بلد «سيين» التي تبعد ٨٠٠ كيلومتر جنوب الإسكندرية. ولأنه يعرف أن شمس الظهيرة في الإسكندرية، في اليوم عينه، لا تكون مباشرة فوق الرأس، قرر أن يحسب الفرق في زاوية الشمس بين الموقعين. غرس عصا في الرمل، وقاس طول ظلّها عند الظهيرة. وباستعمال قواعد علم المثلثات، تبيّن له أن أشعة الشمس تصل الإسكندرية بانحراف عن الخط العمودي مقدار زاويته ٧,٢ درجة. ولأن المسافة بين الموقعين تساوي ٨٠٠ كيلومتر، احتسب محيط دائرة الأرض بتقسيمها على ٧,٢ ثم ضربها بثمانمئة (٣٦٠ ÷ ٧,٢ = ٥٠ و ٨٠٠× ٥٠= ٤٠٠٠٠ كيلومتر). ويفرق هذا الحساب البسيط عن الأرقام الدقيقة لمحيط الأرض بأقل من واحد في المئة.

لم يعرف إيراتوثينث أن المسافة بين الموقعين هي ٨٠٠ كيلومتر، بل إنه خمّن تلك المسافة من الوقت الذي يلزم قافلة من الجمال لعبورها. ولم تكن «سيين» جنوب الإسكندرية مباشرة. ولم تكن صورة الشمس لتظهر بالضبط في قعر بئر موجود فيها يوم ٢١ يونيو / حزيران. ولعل إيراتوثينث كان محظوظاً في التوصل إلى رقمه، على الرغم من كل ما شاب حساباته من تخمين وتقريب. وفي المقابل، فإن طريقته صحيحة. وقد أظهر جرأة فكرية في التصدي لمثل تلك المسألة الكبيرة، باستعمال ما توافر له من وسائل بسيطة.

إحصاءات حيوية عن الأرض:

قطر الأرض عند خط الاستواء = ١٢٧٦٠ كيلومتراً.

محيط الأرض عند خط الاستواء = ٤٠١٠٠ كيلومتر.

قطر الأرض بين القطبين = ١٢٧٢٠ كيلومتراً.

محيط الأرض بين القطبين = ٣٩٩٦٠ كيلومتراً.

كتلة الأرض= ٥٫٨٨ × ١٠ مرفوعة لقوة ٢١ (١٠ مع ٢١ صفراً) طناً.

متوسط الكثافة*= ٥٫٥

سرعة الهروب (عند السطح)= ١١٫٢ كيلومتراً في الثانية.

أقصى مسافة من الشمس = ١٥٢ مليون كيلومتر.

أدنى مسافة إلى الشمس = ١٤٧ مليون كيلومتر.

متوسط المسافة من الشمس = ١٤٩٫٥ مليون كيلومتر.

سرعة الدوران عند خط الاستواء = ١٦٧٥ كيلومتراً في الساعة.

سرعة الدوران عند خط الاستواء = ١٥ درجة في الساعة

معدل سرعة الدوران حول الشمس = ١٠٧٢٠٠ كيلومتر في الساعة

السنة الشمسية = ٣٦٥٫٢٤٢ يوماً.

اليوم النجمي**= ٢٣ ساعة ٥٦ دقيقة و٤ ثوان.

اليوم الشمسي***= ٢٤ ساعة.

ميل الأرض على محورها = ٢٣ درجة و٢٧ دقيقة.

طول درجة من خطوط الطول عند خط الاستواء = ١١١٫٤ كيلومتراً.

طول درجة من خطوط العرض عند خط الاستواء = ١١٠٫٦ كيلومتر.

طول درجة من خطوط العرض عند القطبين = ١١١٫٧ كيلومتراً.

مساحة اليابسة = ٢٩ في المئة.

المساحة المغمورة بالماء = ٧١ في المئة.

---

* كثافة الماء تساوي ١.

** الفترة التي تستغرقها الأرض لتتم دورة حول محورها.

*** الفترة بين منتصف الليل ومنتصف الليل التالي.

حسابات كولومبوس الخاطئة: بعد ١٧ قرناً من توصّل إيراتوثينث إلى احتساب محيط الأرض بدقة معقولة، أبحر مغامر جنوي الأصل، اسمه كريستوبال كولون (أو كريستوفر كولومبوس) غرباً عبر المحيط الأطلسي. وارتكزت شجاعته على حسابات خاطئة. ففي آخر القرن الخامس عشر، شاع اعتقاد في أوساط النُخب الأوروبية بأن الأرض كروية الشكل. وخطر لكولومبوس أنه يمكن الوصول إلى الشرق من طريق الإبحار غرباً، انطلاقاً من ميناء توسكانة الإيطالي. وأظهرت له حساباته أنه يجب أن يُبحر لمسافة ٦٣٠٠ كيلومتر في المحيط الأطلسي. وغادر جزر الكناري في سبتمبر / أيلول من العام ١٤٩٢، مقتنعاً بأن كل ما يجب أن يفعله هو الإبحار عبر الخط ٣٨، لكي يصل إلى الهند في شرق آسيا. ولسوء الحظ، أو لحسنه كما تبيّن لاحقاً، اعترضت قارة أخرى طريقه. لا يسع المرء سوى التساؤل عن مدى جرأته على مواجهة رحلة إلى الهند، لو أن حساباته كانت على غرار الدقة التقريبية لحسابات إيراتوثينث، وبيّنت له أن ما يفصله عنها هو مسافة هائلة مقدارها ٢٢ ألف كيلومتر!

الحضارة الصينية القديمة: أثناء انشغال الإغريق بأفكار ثبت لاحقاً أنها ساهمت في انطلاقة العلم الحديث، ازدهرت في الصين حضارة كبيرة على بعد ١٠ آلاف كيلومتر إلى الشرق.

لم يعرف الإغريق سوى القليل عن تلك الحضارة. ولو عرفوا أكثر لصدموا، ولقلّ زهوهم بذكائهم وعلومهم.

فقد حقّق الصينيون إنجازات تساوي ما لدى الإغريق في الفلك والأدب والرسم وصناعة الخزف والتكنولوجيا العسكرية والإدارة العامة. وتفوقت حضارة الصين على ما لدى اليونان، في صناعة الحديد والهندسة المدنية والزراعة. وفي مجالات مثل صناعة الحرير والكتابة المنمقة، حققوا إنجازات ما كان لدى الإغريق أي فكرة مماثلة عنها.

ولو انتقل فلاسفة الإغريق إلى الصين، في القرن الأول قبل الميلاد، لذهلوا بمستوى التقدم التكنولوجي لتلك البلاد.

فحينذاك، صنعت الصين أشياء مثل المحراث ذي السكة الحديد، وأدوات لحفر آبار النقيع (لاستخراج الملح) والغاز الطبيعي، وتصنيع الحديد الصلد من الحديد الخام، والإنتاج المُكثّف للأقواس، وأطقم للخيل تمكنها من حمل أثقال كبيرة. وفي المقابل، فإن أولئك الفلاسفة كانوا ليدهشوا من تأخّر الصين في مجالات مثل الهندسة، التي احتلت مكانة أساسية في تفكير اليونانيين. وفي الإجمال، كانوا ليشعرون بأنهم في ضيافة حضارة عظيمة.

عالِم صيني عظيم: يعطي زهانغ هينغ (الذي يُعرف أيضاً باسم تشانغ هينغ) مثالاً عن علماء الصين القدامى وإنجازاتهم. ولد في «نانيانغ»، في وسط الصين، عام ٧٨م. ويُعد من طراز العباقرة الكبار، بحيث يمكن وضعه في مصاف عبقري مثل ليوناردو دافنشي، مع ملاحظة أن هينغ يفوقه في النواحي العلمية الصرف. ففي عصره، عُدّ زهانغ في عداد أكبر أربعة رسامين كبار في البلاد. وكتب ٢٠ مؤلفاً أدبياً.

ويُعتبر أكثر علماء الفلك شهرة في التاريخ الصيني. وعمل فلكياً في بلاط أسرة هان الشرقية التي حكمت في القرن الثاني للميلاد. وصنع إحدى أكبر خرائط النجوم تاريخياً، والتي لا تُنافسها سوى خريطة هيباركوس التي وُضعت في العام ١٢٩ ق. م. ولم تكن الأخيرة معروفة في الصين. رسم زهانغ في خريطته مواقع ٢٥٠٠ نجم لامع. وأطلق أسماء على ٣٢٠ منها.

وقدّر أن سماء الليل، التي لا ترى الصين سوى جزء منها، تضم نحو ١١٥٠٠ نجم. ولا يعتبر ذلك رقماً جزافياً. وشرح خسوف القمر، بطريقة صحيحة، بقوله إنه ينجم عن مرور الأرض بين القمر والشمس. وصوّر الأرض ككرة صغيرة مُعلّقة في السماء، يحيط بها فضاء مستدير وهائل الاتساع. وبرع زهانغ في الرياضيات أيضاً.

وأدخل تحسينات على حساب النسبة التقريبية (التي تمثّل النسبة بين محيط الدائرة وقطرها)، فصارت ٣,١٦٢، وذلك رقم قريب مما نعتمده راهناً (٣,١٤٢).

أما أشهر إنجازات زهانغ هينغ فهو مجسّ الهزّات الأرضية الذي طَوّره في العام

١٣٢م قبل أن يخترع الأوروبيون نظيراً له بنحو ١٧٠٠ سنة. وأذهل زهانغ البلاط الملكي بتلك الأداة التي تستطيع أن تحسّ باهتزاز الأرض قبل أن يحسّ بها البشر. واتخذ ذلك المجسّ شكل زهرية من برونز، وقد ثُبّتت عليها مجموعة من رؤوس التنين المصنوعة من البرونز أيضاً. وتدلى من كل رأس لسان برونزي، وبرزت عند أقدام كل تنين مجموعة من الضفادع البرونزية، بأفواه مفتوحة. وعند اهتزاز الأرض، تنزلق كرة أوتوماتيكياً لتقع على لسان ضفدع. ويشير موقع الضفدع إلى الاتجاه الذي تأتي منه تلك الهزّة.

وفي حادث غدا شهيراً، انزلقت كرة إلى لسان ضفدع، من دون حدوث أي هزّة ملحوظة. وبعد مرور أيام قليلة، أفادت الأخبار أن زلزالاً وقع في بلدة «كانسو»، على بعد ٦٠٠ كيلومتر من البلاط الملكي في بيجينغ، وفي الاتجاه الذي أشار إليه مجس زهانغ! ورغم عبقريته، لم يكن ذلك المجسّ الأب الروحي لمقياس الزلازل المُستخدم حالياً؛ إذ تقدر أداة زهانغ على تحسُّس الزلازل، لكنها لا تقدر على قياسها.

حساب النسبة التقريبية: يصعب التعبير عن النسبة التقريبية، التي تُكتب بالانكليزية Pi ويُشار إليها بالرمز π سواء بالأعداد أو بالكسور. ومهما استُعمل من أرقام، يلبث الرقم تقريبياً.

يعتبر كثيرون أن الرقم ٣,١٤١٦ يمثّل القيمة الأكثر دقة، ويمكن استعماله أيضاً بطريقة عملية.

وقبل ظهور الكومبيوتر، فإن الحدّ الأقصى للأرقام التي يمكن وضعها، بعد فاصلة الأرقام العشرية، لتُعطي أدق حساب للنسبة التقريبية هو ٥٢٨ رقماً. وفي العام ٢٠٠٢، نجح اليابانيون في حساب π بدقة تصل إلى ١,٢٤ تريليون رقم! ومع هذا، بقي ذلك الرقم تقريبياً.

العلم الإسلامي: أيّاً تكن الإنجازات التي تحقّقت في ظل قرون من سيطرة الإمبراطورية الرومانية، فإن التقدم العلمي لم يكن في عدادها. لقد ذكر الرومان علوم

اليونان، لكنهم لم يضيفوا إليها شيئاً يُذكر. وعندما تفككت تلك الإمبراطورية، ذوت الحياة المدنية، وفُقِدَت المعرفة العلمية.

مع صعود المسيحية، تركّز النشاط المعرفي على الثيولوجيا الدينية، أكثر مما تركّز على المعارف «الوثنية». ولولا صعود إمبراطورية أخرى، لضاعت غالبية معارف القدماء، ولتغيّر تاريخ العلم.

ففي العام ٦١٠ م. ظهر في مدينة مكة من شبه جزيرة العرب، رجل في الأربعين من العمر يعمل في التجارة، اسمه محمد ، وتحدث للناس عن رؤى سماوية وكلمات تنزّلت عليه. وجُمعت تلك الكلمات في ما عُرف لاحقاً باسم القرآن، الذي يعتبر كتاباً مُقدساً عند أتباع ذلك الدين الجديد.

وخلال ٢٠ سنة، شاع الإسلام في معظم الجزيرة العربية. وبفضل سلسلة من القادة الدينيين والعسكريين الذين عُرفوا باسم الخلفاء، انتشر الإسلام في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. وتمكن من قهر الإمبراطوريتين القديمتين، البيزنطية والفارسية.

وبحلول العام ٧٥٠م. بعد وفاة محمد بأكثر من قرن، امتدت الإمبراطورية الإسلامية من خليج «بيسكاي» إلى جبال أفغانستان.

اشتملت تعاليم الإسلام على ضرورة طلب العلم، واعتبر ذلك فرضاً. وساهمت الثروة الهائلة التي تجمّعت من التجارة في أرجاء تلك الإمبراطورية الشاسعة، في توفير مناخ ملائم لازدهار العلم. وتحت قيادة مجموعة من الحُكّام المُحبين للعلوم، تجمّعت معارف كثيرة لدى المسلمين. ومن توليدو (إسبانيا) في الغرب إلى أصفهان (إيران) شرقاً، عمل الدارسون على ترجمة الكتب القديمة، ليس من الاغريقية فحسب، بل من السنسكريتية والبهلوية والسريانية أيضاً. وفي الوقت نفسه، أدّت العلاقات التجارية المزدهرة مع الصين والهند إلى استقدام أفكار ونظم في الرياضيات لم تكن معروفة عند الإغريق. ويمكن القول بثقة، إن البحّاثة المسلمين، في ذلك الحين، جمعوا معارف علمية أكثر مما تجمَّع في تاريخ العالم قبلهم.

اكتشافات في بغداد: ولّدت التجارة ثروات ضخمة في أرجاء الإمبراطورية الإسلامية، فأسهمت في زيادة عدد السكان فيها. وظهرت مُدُن جديدة، مثل قرطبة في إسبانيا، التي نمت لتضم نصف مليون نسمة. ولم يلتمع العلم الإسلامي في أي مكان بأقوى مما لمع في بغداد، على ضفاف دجلة من بلاد آشور الغابرة. فعلى الحدود الشمالية لبابل القديمة، حيث وُلد علم الفلك قبل ٣ آلاف سنة، ظهرت مدينة عظيمة، وسرعان ما أصبحت مقصداً للدارسين من كل حدب وصوب.

وخلال ٣ قرون، تعاظم ازدهارها وعمرانها. وفي العام ١٠٠٠م. بلغ عدد سكانها ١,٥ مليون نسمة. وفي ذلك المناخ، ازدهرت العلوم بقوة.

ففي مستهل القرن التاسع للميلاد، عندما لم يستطع الإمبراطور شارلمان الكتابة إلا بصعوبة، شجّع خليفة بغداد، هارون الرشيد، الدارسين على ارتياد آفاق علوم الرياضيات والفلك والطب والجغرافيا، والتوسّع فيها. وفي العام ٨٣٠ م. أسس ابن لهارون الرشيد، هو المأمون، «بيت الحكمة» حيث تجمّع الأكاديميون لترجمة أعمال أرسطو وأرخميدس وبطليموس وغيرها مما جُلِب من الأرجاء الشاسعة للإمبراطورية الإسلامية.

وتُروى قصة عن المأمون تُبيّن سلوك علماء المسلمين تجاه الإغريق. إذ يُحكى أن المأمون أبصر، في منامه، رجلاً يستريح في سرير، فسأله: «من أنت؟» فرد: «أنا أرسطو»، فدخل المأمون معه في نقاش عن الأخلاق والقانون والإيمان.

أدى هذا الانفتاح الفكري الذي استمر ٦٠٠ سنة إلى تحوّل بغداد وغيرها من الحواضر الإسلامية إلى مقار لكنوز المعرفة العلمية. وبهذه الطريقة، حُفظت تلك المعارف إلى أن استفاقت أوروبا من غفوتها الفكرية، وشقّت طريقها في الاكتشاف العلمي.

نظام الأرقام العربية: الأرجح أن الأرقام العربية هي أبرز ما قدّمته الحضارة الإسلامية للعلم الحديث. ويمكن أن نصفها أيضاً بـ «الأرقام الهندية»، لأنها انبثقت من الهند في

مستهل الألفية الأولى للميلاد*. ونظّمها عالم الفلك الهندي أريابهاتا، الذي وُلِدَ في «كوسومابورا»، قرب مدينة «باتنا» الحديثة، في العام ٤٧٦ م. وصاغ أُسس تلك الأرقام في مؤلَّف عن الفلك والرياضيات اسمه أريابهاتا، المكتوب بأبيات ثنائية من الشعر السنسكريتي. ولم يُنشر كتابه في أوروبا إلا في العام ١٨٧٤.

وعرف نظامه في الأرقام طريقه إلى العربية في القرن التاسع، عبر كتابات عالم الرياضيات الخوارزمي الذي وُلِدَ في ما يُعرف راهناً باسم أوزبكستان، وقد نال الخوارزمي حظوة عند الخليفة المأمون. وبفضله وجدت الأرقام العربية طريقها إلى أوروبا، عندما ابتدأت الثورة العلمية على أيدي غاليليو وكيبلر.

ليس ضرورياً وجود نظام فعّال من الأرقام لإجراء حسابات سريعة. وفي إمكان المتمكن من الحساب استخدام المِعداد لإنجاز عمليات مذهلة. لكن إجراء حسابات مُعقدة، كتلك التي تطلبتها نظريات نيوتن، يكاد يكون متعذراً لولا الأرقام العربية، والمنازل العشرية، ومفهوم الصفر. وقد جاءت تلك الأشياء كلها من الهند على يد المسلمين.

وللتثبت من ذلك الأمر، يمكن تجربة ضرب رقمين مكتوبين بالأرقام الرومانية مثل MDXXLIV وLIX، إن هذا يدل إلى الأهمية الهائلة للأرقام العربية التي نستعملها اليوم.

ابتدأ استعمال الأرقام العربية في أوروبا لأغراض التجارة أولاً ثم للعلوم، على يد عالم الرياضيات الإيطالي ليوناردو فيبوناتشي الذي وصفها في مؤلفه «كتاب الحسابات». كما وصف استعمالها علمياً في مؤلفه كتاب «المربعات» الذي وُضع في العام ١٢٢٥.

إنجاز كوبرنيكوس: في خريف العام ١٤٩١، وفيما كان كولومبوس يُخطط لرحلته، ابتدأ فتى عمره ١٨ عاماً دراسته الجامعية في مدينة «كراكوف» البولونية. حمل اسم ميكولاي كوبرنيك الذي تغيّر لاحقاً إلى مُعادلِه اللاتيني نيكولاس كوبرنيكوس.

---

* يذكر أن الأرقام التي يستعملها العرب راهناً (١،٢،٣ و ٤ إلخ...) هي الأرقام الهندية. وتُسمى الأرقام التي يستخدمها الغربيون (1,2,3,4) الأرقام العربية. (المترجم)

وقُدّر له أن يُحدث انقلاباً في أذهان الناس عن مناطق أبعد من الكرة الأرضية، وبأكثر مما غيّر كولومبوس في صورة الأرض نفسها.

مات والدا كوبرنيكوس عندما كان في العاشرة. فرعاه عمّه الذي كان قسيساً. وعندما بلغ كوبرنيكوس ٢٢ سنة، أمّن عمه له عملاً دائماً ككاهن في كاتدرائية «فراوينبورغ». لم يكن هذا العمل شاقاً، فتمكّن من متابعة دراساته.

جذبته الأفكار الجريئة الآتية من إيطاليا، فتسجّل في جامعة بولونيا، حيث عمل مساعداً للفلكي دومينيكو ماريا دي نوفارا، ثم انتقل إلى جامعتي «فيرّا» ثم «بادوا» الإيطاليتين.

استمر كوبرنيكوس في درس قوانين الكنيسة، لكن الفلك بقي حبّه الأول. وعند بداية دراساته، تقبّل نموذج الأفلاك الذي وضعه الفلكي الإغريقي بطليموس في الإسكندرية قبل ١٣٠٠عام.

وبناء على ذلك النموذج، كانت الأرض ثابتة في مركز الكون، تدور حولها الشمس والكواكب السيّارة والنجوم.

وُلِدَ بطليموس حوالى العام ١٠٠م. ومات في العام ١٧٠م. وعاش مصرياً، لكنه كتب باليونانية. وحاز شهرته من مؤلفه «مجموعة الرياضيات»، الذي لخّص فيه معارف عصره في الفلك. وأطلق العرب على ذلك المؤلَّف اسم «المجسطي» («الكتاب الكبير»).

وتبنّت الكنيسة نموذجه عن هندسة السماء، كما قبله علماء الفلك أيام كوبرنيكوس. وتعرّض لنقد كثير بسبب صعوبة الاعتماد عليه مرشداً إلى حركة النجوم. وأثارت حساباته المُعقّدة الكثير من الأسئلة المُشكّكة في عقول بعض الفلكيين.

وأحس بعضهم أن حركة الأجرام السماوية ربما كانت أسهل وأكثر اتساقاً مما يقترحه نموذج بطليموس.

ثمة أسئلة من الطبيعي أن تثور في ذهن فلكي شاب مثل كوبرنيكوس. وعند انتهائه من الدراسة في إيطاليا، عاد إلى كنف عمّه ليعمل بدأب على حلّ المشكلات في حركة الكواكب. لم يكن فلكياً يراقب السماء ويدرس حركة أجرامها فحسب بل كان أكثر من ذلك.

بدا كوبرنيكوس أقرب إلى صورة الفيلسوف الطبيعي، يدرس العالم الطبيعي بعمق، لكنه يحصل على المادة الأولية لأفكاره من الكتب والتأمّل أكثر مما يحصل عليها من التجربة والمراقبة. وقادته قراءته كتب الإغريق السابقة لبطليموس، إلى استخلاص فكرة أن الشمس هي مركز الكون.

وبعد وفاة عمّه في العام ١٥١٢، عاد كوبرنيكوس إلى «فراوينبورغ». وعقب سنتين، شرع في عرض ورقة على زملائه، سمّاها «تعليق موجز»، تضمّنت آراءه في عيوب نموذج بطليموس.

قبل أن يخُطَّ بطليموس «المجسطي»، اقترح كثير من علماء الفلك اليونان نموذجاً تتوسط فيه الشمس السماء، حيث تدور حولها الأرض والكواكب. ولكنهم لم يحولوا أفكارهم إلى نماذج مكتملة، على غرار ما فعل بطليموس. وسرعان ما نُسيت أسماؤهم.

ولأن كوبرنيكوس كشف الشوائب التي تُخالط نموذج بطليموس، فقد شرع في ملاعبة فكرة أن الشمس نقطة المركز، وليس الأرض، على رغم أن تلك الفكرة كانت مهجورة كُلياً. وكلما قارن سلوك الكواكب بحساباته المرتكزة على نموذجه الجديد، أيقن أنه يسير في الاتجاه الصحيح. استأثرت باهتمامه ظاهرة تُسمّى «الحركة الراجعة» لكواكب المريخ والمشتري وزحل. وعجز نموذج بطليموس عن حلّها، من دون اللجوء إلى أساليب ملتوية. وفسّرها بأن تلك الكواكب تبدو كأنها، بين الحين والحين، توقف رحلتها الكونية، ثم تعود إلى الخلف قليلاً، قبل أن تواصل السير في مداراتها!

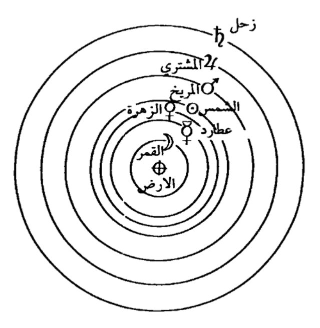
أدرك كوبرنيكوس أن تلك الحركة أمر يمكن توقعه بسهولة، إذا أدركنا أن تلك الكواكب تدور حول الشمس، لأن الأرض التي تدور أيضاً حول الشمس في رحلة أقصر، يلزمها وقت لكي ترى الكواكب مُجدداً.

سُرّ كوبرنيكوس من البساطة التي يتمتّع بها نموذجه، لكنّه خشي أن يُسخر منه إنْ نشره على الملأ. وربما ما كان ليعلن نموذجه الجديد، لولا زائر جاءه من ألمانيا في العام ١٥٣٩. فقد قصده عالم رياضيات شاب من جامعة «فيتنبورغ»، اسمه رايتكوس، بعد أن قرأ مخطوطة «تعليق موجز»، وأُعجب بها. وتشجّع كوبرنيكوس متأثراً بحماسة صديقه،

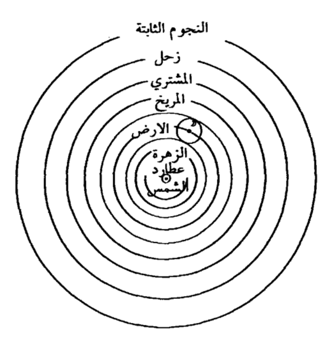
خصوصاً عندما علم أن البابا نفسه أراد طبع تلك الأفكار. وافق كوبرنيكوس على طبع أفكار عن نموذجه الجديد عن النظام الشمسي، تحت إشراف رايتكوس، في كتاب عنوانه «عن مدارات الأفلاك السماوية»، الذي نُشر في العام ١٥٤٣. وتروي أسطورة رائجة أن النُسخ الأولى صدرت في اليوم عينه الذي توفي فيه كوبرنيكوس.

الشمس: أقرب النجوم إلينا هي الشمس. وتلعب دوراً استثنائياً بالنسبة إلى الأرض وسكّانها. أما في عيون الفلك فإنها نجم عادي. تُشبه الشمس كُرة من غازات مشتعلة، وخصوصاً الهيدروجين (بنسبة ٧٥ في المئة) والهيليوم. وليست سوى واحد من بلايين النجوم التي تضمها مجرّة «درب التبانة»، والتي تشبه بدورها القرص.

تشغل الشمس مكاناً بعيداً من مركز ذلك القرص، حيث تدور بسرعة ٢٤١ مليون كيلومتر في الثانية. و رغم تلك السرعة الخارقة، فهي تحتاج إلى نحو ٢٠٠ سنة ضوئية لتدور مرّة حول المجرّة.



الشكل ٤: النظام الشمسي بحسب بطليموس.



الشكل ٥: النظام الشمسي بحسب كوبرنيكوس.

يبلغ متوسط بُعد الشمس عن الأرض ١٥٠ مليون كيلومتر. ولأن الأرض تتبع مداراً إهليلجياً، وليس دائرياً، حول الشمس، فإن الرقم الفعلي قد يتغيّر بمعدل واحد في المئة عن الرقم السابق. ويستغرق ضوء الشمس ٨ دقائق و٢٠ ثانية ليبلغ الأرض.

إحصاءات حيوية عن الشمس:

القطر = ١٤٠٠ ألف كيلومتر (أكبر من الأرض بمئة ضعف).

الحجم = ١٣٠٠ ألف مرة أكبر من الأرض.

الكتلة = ٣٣٠ ألف مرة أكبر من الأرض.

معدل الكثافة= ١,٤ *.

فترة دورانها حول نفسها = ٢٥ يوماً.

الحرارة عند السطح = ٥٥٠٠ درجة مئوية.

حرارة اللب الشمسي = ١٥ مليون درجة مئوية.

* كثافة الماء تساوي ١.

ترافق الشمس في رحلتها مجموعة من الكواكب السيّارة، تؤلف عائلة الشمس.

عائلة الشمس:

الكوكب السيّار	القطر (مليون كيلومتر)	البعد من الشمس (مليون كيلومتر)	الدورة الشمسية
عطارد	٤٩٠٠	٥٨	٨٨ يوماً
الزهرة	١٢١٠٠	١٠٨	٢٢٥ يوماً
الأرض	١٢٨٠٠	١٥٠	٣٦٥ يوماً
المريخ	٦٨٠٠	٢٢٨	٢ سنة
المشتري	١٤٣٠٠٠	٧٧٩	١٢ سنة
زحل	١٢٠٦٠٠	١٤٣٣	٢٩ سنة
أورانوس	٥١٢٠٠	٢٨٧٣	٨٤ سنة
نبتون	٤٩٦٠٠	٤٤٩٥	١٦٥ سنة
بلوتو	٢٤٠٠	٥٨٧٠	٢٤٨ سنة

الكويكبات: تُعتبر الكواكب بمنزلة الأعضاء الكبار في عائلة الشمس. وتحيط بالأعضاء مجموعة من الإخوة الصغار ـ الكويكبات ـ التي تتسابق في ما بينها، فتنجح غالباً في اللعب بسلام، لكنها قد ترتطم بعضها ببعض، في أحيان نادرة جداً.

تتركز غالبية الكويكبات في حزام يقع بين مدارَي المريخ والمشتري، ولكن بعضها يسير في مدارات قريبة من الأرض. يتألف بعضها من كتل حديد أو صخور مع معدن (الحديد غالباً)، لكن معظمها مجرد قطع صخور كبيرة. يُعتقد أن الكويكبات ناتجة من بقايا مواد لم تفلح في الالتصاق بعضها ببعض لتُكوِّن كوكباً. اكتشف الكويكب «سيريس»، وهو أكبرها، في العام ١٨٠١. ويصل قطره إلى ١٠٠٠ كيلومتر، أي ما يُعادل ثلث قطر القمر.

وثمة نحو ٣٠ كويكباً، قطر كل منها أكثر من ١٥٠ كيلومتراً.

والأرجح أن الإجابة عن سؤال مثل: «كم كويكباً تحوي المجموعة الشمسية؟» يقتضي الاتفاق على تعريف حجم الجسم الذي يندرج في تعريف «كويكب». لقد سمّى العلماء أو رَقّموا نحو خمسين ألف كويكب. ويكفي أن يرتطم أصغرها حجماً لكي تحدث كارثة هائلة للأرض. وإذا ارتطمت أرضنا بكويكب قطره ١,٥ كيلومتر، فسيعبر الغلاف الجوي بسرعة تصل إلى ٨٠٠ ألف كيلومتر في الساعة، وهذا يكفي لإحداث انفجار هائل، فيُبدّل شكل الحياة على الأرض. وقد حدثت كوارث مُشابهة في أزمنة غابرة، كما تُثبت السجلات العلمية. إذاً، السؤال هو متى ترتطم الأرض بكويكب بحجم مؤذٍ؟ لحسن الحظ، لا يحدث ذلك إلا نادراً، ونادراً جداً.

حزام كيبور: دأب الفلكيون في درس حزام الكويكبات الذي يقع بين مدارَي المريخ والمشتري، منذ ٢٠٠ سنة. وقبل بضعة عقود، تنبّهوا إلى وجود حزام مماثل في أطراف النظام الشمسي، قرب مدار كوكب «نبتون»، وأطلقوا عليه اسم «حزام كيبور»، ويحتوي على ملايين من أشباه الكويكبات التي يتألف معظمها من قطع ضخمة من الثلج، كحال المُذنّبات. ووصل قطر أكبر جسم اكتشف في «حزام كيبور» إلى ١٣٠٠ كيلومتر. ويقع «بلوتو» بالقرب من هذا الحزام.

النيازك: سؤال: «متى لا يعود الكويكب كويكباً؟» الجواب: «عندما يُصبح نيزكاً». ينجح الغلاف الجوي للأرض غالباً في إبطاء سرعة النيازك الصغيرة، فتتبخر فيه. ويصل بعضها إلى الأرض التي يحتوي سطحها الكثير من تلك الحجارة الكونية. ولحسن الحظ، يتألف معظم سطح الأرض من ماء ويابسة غير مأهولة، ولذا، قلما تُصيب النيازك الناس بالأذى. وفي المقابل، تقدر النيازك، نظرياً، أن تُلحق بالأرض خراباً كبيراً.

فعندما يصل نيزك متوسط الحجم إلى الأرض، مندفعاً بسرعة ٨٠٠ كيلومتر في الدقيقة، فإنه يُطلق طاقة تُساوي قنبلة هيروشيما الذريّة. ويحدث ارتطام كهذا مرة كل ٥ آلاف سنة.

وفي فترات أكثر بُعداً، قد يحدث أن ترتطم الأرض بنيزك كبير. ثمة صخرة كتلك مدفونة في وادٍ عميق في «شيكسيلوب» في شبه جزيرة «يوكاتان» بالمكسيك. لقد انحفر الوادي إثر ارتطام الأرض بنيزك طوله ١٠ كيلومترات، قبل نحو ٦٥ مليون سنة. وتصاعدت منه سحابة هائلة من غبار حجبت نور الشمس عن الأرض، وربما لعبت دوراً في فناء الديناصور. ولمن توتره تلك الأخبار، يمكن تهدئة المخاوف بالقول إن احتمال الإصابة بنيزك هو أكبر في المساء مما في الصباح!

المذنّبات: ثمة نوع آخر من الأجسام التي تدور حول الشمس، هي المُذنّبات. ليست كبيرة. ولا يتجاوز قطر أكبرها بضعة كيلومترات. ومعظمها صغير. تتألف غالباً من ثلج ممزوج بغاز الميثان المتجمّد وثاني أوكسيد الكاربون وغيرهما. ولا يعني أنها خالية من الأخطار؛ إذ تُبحر المُذنبات التي تأتي في معظم الأحيان من الأطراف النائية للنظام الشمسي، بسرعة مُرعبة، فإذا أصابت الأرض فقد تكون العواقب وخيمة. وتتبع المُذنّبات مدارات بيضوية أطول من مدارات. لذا، فانها تقترب من الشمس بسرعة، ثم تبتعد كثيراً. وبعضها لا يرجع إلا بعد سنوات طويلة، وبعضها يختفي في الفضاء لقرون قبل أن يعاود الظهور.

وفي العصور التي راج فيها التنجيم، ساد الاعتقاد بأن ظهور المُذنّبات نذير شؤم مطير. وحينذاك، بدت تلك الأجرام وكأنها تأتي من الفراغ برؤوس لامعة وأذيال يتطاير منها الضوء، وكأنها حاملة نُذراً بالأسوأ.

عندما تقترب المُذنّبات من الشمس، تتخذ شكلاً فنياً. فبسبب حرارة الشمس، تتبخر بعض مكوّناتها. وكذلك تدفع الريح الشمسية التي تتكوّن من تيّار من الجسيمات التي تقذفها الشمس، ما يتبخر منها بعيداً من جسمها، فيُعطي ذلك مظهر «الذيل». ويتجه دوماً صوب الشمس، لكن ذلك يحصل لأن المُذنّب يتجه نحو الشمس، أما حين يبتعد عنها، فإنه يسير أمام الجسم الرئيس للمُذنّب.

يُعتقد أن غالبية المُذنّبات القصيرة الأجل التي تدوم لقرنين، تصدر من «حزام

كيبور»، وتنحرف عن مساراتها بفعل قوى الجاذبية في الكواكب السيّارة الكبيرة، مثل المشتري وزُحل. ويُظَنُّ أن معظم المُذنّبات الطويلة الأجل، تصدر من منطقة نائية في النظام الشمسي تُعرف باسم «غمامة أُورت». تحتوي «غمامة أُورت» التي تقع بعيداً من «بلوتو»، على ملايين منها. وفي كل حين، يضطرب مسار أحدها، متأثراً بجاذبية الكواكب السيّارة أو بفعل أحد النجوم القريبة، فيخرج عن مساره مُتّجهاً نحو الشمس. ولنأمل أن اسم كوكبنا لن يرتبط بأحدها.

الشُهُب وحمّاماتها: تختلف الشُهُب أو «طلقات النجوم» عن النيازك. ولا تعدو كونها قطعاً صغيرة من صخور أو حتى غبار كوني يحترق كلياً عند احتكاكه بالطبقات العليا من الغلاف الجوي. وتظهر كومضات تعبر السماء، فتلتمع لثانية أو أقل. ويُسافر بعضها في أسراب، بصحبة المُذنّبات. وحين تعترض الأرض مسارها، تنشأ ظاهرة «حمّام الشُهُب». وليست بظاهرة مشهدية، كما يوحي اسمها، لكن بعضها قد يحرق بضعة شُهُب في هنيهة. وتتخذ الحمّامات المتكرّرة أسماءها من المجموعة النجمية التي تصدر منها. وفي ما يأتي بعض أشهر الأمثلة:

اسم حمّام الشُهُب	أوان حصولها (مع زمن الذروة)
كوادرانتيدس	١ ـ٥ يناير / كانون الثاني (٤ ك٢)
لايريدس	١٦ ـ٢٥ أبريل / نيسان (٢٢ أبريل / نيسان)
بيرسيدس	٢٣ يوليو / تموز ـ ٢٢ أغسطس / آب (١٢ أغسطس / آب)
أوريونيدس	٢ أكتوبر / تشرين الأول ـ ٤ نوفمبر / تشرين الثاني (٢١ أكتوبر / تشرين الأول)
ليونيدس	١٤نوفمبر / تشرين الثاني ـ ٢١ نوفمبر / تشرين الثاني (١٧ نوفمبر / تشرين الثاني)
جيميندس	٦ ـ ١٩ يناير / كانون الأول (١٣ يناير / كانون الأول)

ما الذي يجعل العلم مُمكناً؟: تبدو بعض الأشياء مألوفة في التاريخ حتى أننا لا نسأل لماذا تحدث ومتى وأين، ولمَ تحصل في أماكن وأوقات بعينها.

ولعل تاريخ العلم من أبرز الظواهر التاريخية التي نُسلّم بحصولها، من دون أسئلة كثيرة عما يضطرب في القلب منها. لقد كان العلم الإغريقي فريداً في العالم القديم. وصنع الصينيون حضارة عظيمة، وابتكروا تقنيات تقدمت بمئات السنين عما وُجد في سائر بلدان العالم. تشمل تلك التقنيات أشياء مثل السُفُن والأسلحة وأدوات الزراعة والطُرُق والجسور والأقفال والورق والطباعة وغيرها. لا شيء في العالم شابه ما لدى الصين، حينذاك، وظلت تلك البلاد متقدمة حتى بدء الثورتين الزراعية والصناعية في أوروبا الحديثة. وفي المقابل، لم يرافق التقدم التكنولوجي للصين تقدم علمي موازٍ.

واعترف المؤرخ جوزيف نيدهام الذي فتح عيون العالم على منجزات الصين في التكنولوجيا، بأنه دُهش لعدم قدرة الصين على إحداث تقدّم مماثل في العلوم.

لننظر إلى مثال آخر في أوروبا. لقد صنع الرومان حضارة عظيمة. وحازوا تكنولوجيا متقدمة. لم يخترعوا الطباعة ولا البارود، لكنهم برعوا في شق الطرق وإنشاء الجسور ومدّ القنوات وبناء حمامات البُخار، وكذلك في الاتصالات والإدارة. وفي المقابل، لم تؤد قرون من الهيمنة الرومانية إلى تقدّم علمي مرموق. لقد ورثوا من اليونان عبيدهم وعلومهم، لكنهم لم يصنعوا علماً. وعندما تُرجمت المؤلفات الكلاسيكية الإغريقية إلى اللاتينية في القرن السادس عشر، فإن النُسخ العربية اعتُمدت أساساً لترجمة التراث الإغريقي.

لم يحدث تقدم علمي بالطريقة التي نفهمها راهناً، إلا مرتين في تاريخ العالم. وبين غروب العالم الإغريقي وفجر العلم الحديث، امتدّ أكثر من ألفية ونصف الألفية لم يضف خلالها شيء أساسي إلى معارف العالم العلمية. لماذا حدثت الأمور على هذا النحو؟ لا يمكن رد الأمر إلى الجينات.

لم يكن الإغريق أذكى من الرومان ولا من الصينيين، وليس سكان أوروبا ألمع من أبناء الأزتيك ولا من قاطني زيمبابوي. ربما نعثر على مفتاح الإجابة في الاقتصاد، إذ يزدهر العلم في المجتمعات التي يُمكّن ثراؤها الناس من النقاش والتأمل. ولكن القصة لا تُفسر

أيضاً بالثراء والترف والعيش المتحضر وحدها، وإلا لأنجز أهالي الصين والرومان أضعاف ما فعل الإغريق. ولربما تضمنت الإجابة أبعاداً ثقافية، فضلاً عن البعد الإقتصادي.

ثمة مجتمعات تُنظّم بطُرق تساعد على جعل العلم مُمكناً، وكذلك تؤسس عادات في التفكير تُعين في الأمر عينه. وثمة مجتمعات أخرى تزدهر وتُطوّر تراكيب سياسية وقيماً ومُعتقدات وطرقاً من التفكير، تعوق تقدم العلوم.

لا تستطيع المجتمعات التي تملك احتراماً مبالغاً فيه للماضي، أن تستولد سلوكاً يتحدّى الأفكار السائدة، مما يُنتج طرقاً جديدة في فهم العالم. تميل المجتمعات التي يحوز فيها الكهنة السلطة إلى سجن أو قمع لأولئك الذين يُعارضون هيمنة التفسيرات الكهنوتية. وحيث تُقيّد حرية الفكر والتعبير، ترسف العقول، مثل الأجساد، في الأغلال.

يتطلب العلم، مثل النبات، ظروفاً ملائمة ليُزرع اجتماعياً. ولا ينمو في البريّة، ولا يزدهر في الغرف المظلمة. ويتوثب كأبهى ما يكون في المُدن (بما فيها الأمكنة التي تُسمّى جامعات)، حيث يغذّيه أناس لديهم القدرة والرغبة والوسيلة لفعل ذلك. ويحتاج العلم إلى النور والهواء والتربة الخصبة. في أوروبا، خلال القرنين السادس عشر والسابع عشر، توافرت تلك الظروف، فانطلق العلم لينمو ويتعملق.

العلم والتكنولوجيا: كثيراً ما ينسب التوسّع في المعرفة العلمية، التي حدثت في مطلع القرن السابع عشر، إلى إعادة اكتشاف التعاليم القديمة التي أشعلت عصر النهضة. لكن، كلما مُحِّصَ ذلك التفسير، بدا أقل قدرة على الإقناع. فقد فصل بين أرخميدس وإيراتوثينث، أربعة قرون من التأمل في العالم الطبيعي، ساهمت فيه كوكبة متألقة من العقول. ولم تتمكن تلك الكوكبة من مراكمة معرفة واسعة عن العالم الطبيعي وطرق عمله. لو سار العلم بين عامي ١٦٠٠ و٢٠٠٠ على ذلك المنوال، انطلاقاً من المعرفة التي امتلكها الإغريق وباستعمال وسائلهم أيضاً، لما أُضيف شيء يذكر إلى نقطة الانطلاق.

تفيد إعادة التعرّف إلى علوم القدماء كمنصة إطلاق، لكن التقدّم العلمي يحتاج إلى شيء خارج العلم ليصل به إلى المسار المناسب. لم يمتلك الإغريق ولا العرب ولا الصينيون ذلك الشيء: حيازة التكنولوجيا المُناسبة للتقدم في العلم.

تُعرّف التكنولوجيا في الكثير من القواميس بأنها علم تطبيقي، والأرجح أنه أسوأ تعريف ممكن للتكنولوجيا. يستعيد التعريف المُعضلة الشهيرة بين الدجاجة والبيضة.

فكما يصُحُّ القول إن تقنيات كثيرة تأتي من تطبيق اكتشافات علمية، يصُحُّ أيضاً القول إن مجموعة كبيرة من الاكتشافات العلمية تأتي من استخدام وسائل تقنية متطورة. ويمكن النظر إلى العلم والتكنولوجيا باعتبارهما استجابتين مختلفتين لقوى الطبيعة. ففي العلم، تحاول الإنسانية شرح تلك القوى، وتسعى التكنولوجيا إلى الاستفادة منها. ويحتمل أن يؤدي التقدّم في أيٍ منهما إلى تقدّم في الأخرى.

ثورة الطباعة: من بين الابتكارات التكنولوجية كلها التي مهدت لعصر العلم الحديث، تبرز الطباعة باعتبارها الأهم بينها. والأحرى، ابتكار المطبعة التي تستعمل حروفاً متحركة. لم تكن الطباعة نفسها بجديدة. فقد عرفها الصينيون الذين طبعوا الكُتُب قبل مئات السنين. تَمَثّلَ الجديد في استعمال الطباعة شكلاً للإنتاج المُوسّع. ففي القرن الخامس عشر، وصل العلم والتكنولوجيا في الصين إلى مستويات مقاربة لما في أوروبا، بل إن انتاج الكتُب صينياً كان أكثر تقدماً. حازت أوروبا مخطوطات فاتنة، لكنها أنتجت كتابة باليد، وباستعمال ريش الطيور. ودُوّنت بعض المخطوطات على جلود الخراف.

حازت الصين مخطوطات وكُتُباً جميلة، مطبوعة على الورق الذي أتقنت صناعته. واستعمل الصينيون في الطباعة ألواح خشب. واقتضى الأمر حفر كل ورقة على لوح مستقل. وبعد إعداد الألواح، يغدو أمر الطباعة سهلاً. ويحتاج نقش الكتابة الصينية، بنصوصها المُعقّدة، إلى جهد ووقت كبيرين يجعلان عمليات الطباعة تتسم بالبطء الشديد.

وفي آخر القرن الخامس عشر في أوروبا، تضافرت مجموعة من الابتكارات السابقة لخلق أسلوب جديد في الطباعة. ونتيجة ذلك، أكثر من أي شيء آخر، جُعِلَت أوروبا مهداً للعلم الحديث. وبذا، استحقت ثورة الطباعة أن توضع على قدم المساواة مع الثورات الكبرى في الزراعة والعلم والصناعة.

الطباعة بالحروف المتحركة: تعتبر الحروف الأبجدية من الابتكارات التي مهّدت لثورة الطباعة، إذ إنها تُمكّن من التعبير عن الأفكار، ومن نقل المعلومات، باستعمال نحو عشرين رمزاً بسيطاً. لقد انطلقت الأبجدية من المتوسط قبل الميلاد بألف سنة. وتبنّاها الإغريق والرومان. وبحلول القرن الخامس عشر، امتلكت معظم اللغات الأوروبية أبجدياتها.

ساهمت فكرة ذكيّة أخرى في تلك الثورة: الطباعة المتحركة باستخدام أدوات حديد. لم تكن ابتكاراً أوروبياً كاملاً. فقد مارس الكوريون تلك الطباعة مئتي عام قبل أن ينقلوها إلى الصينيين. لكنها لم تنتشر في شرق آسيا، بسبب التكلفة الباهظة لصنع عدد كبير من الرموز التي تلزم لكتابة لغات ذلك الجزء من العالم.

وبدا للأوروبيين أن استعمال الطباعة المتحركة يسهل الأمور، بسبب ضآلة عدد الرموز (الحروف) المستخدمة في كتابة لغاتهم.

ومع الأبجدية والطباعة المتحركة لم يبق سوى خطوة، ابتكار الطابعة، لكي تندلع ثورة الطباعة. ولم يكن مفاجئاً حدوثها في أوروبا، حيث الناس يستعملون المعاصر في ضغط حبوب الزيتون والعنب لاستخراج الزيت والعصير منهما. ومعلوم أن الطباعة ترتكز على ضغط الحروف المُحبّرة على الورق. وهكذا تضافرت مجموعة من الابتكارات، تشمل الورق والحبر والأبجدية والطباعة المتحركة والمَعاصر، لكي يأتي ابتكار يجمعها. وحدث ذلك في مدينة «ماينز» في ألمانيا، في خمسينيات القرن الخامس عشر، على يد رجل اسمه يوهانس غوتنبرغ.

سوق الكتب: لم يكن غوتنبرغ عالماً، ولم يهتم بالتقدّم العلمي، ولا بالتدريس. اهتم بالاستثمار، ولاحت له فرصة فانتهزها.

ففي أوروبا القرن الخامس عشر، بدت الحاجة الملحّة إلى الكلمات المكتوبة؛ إذ ولّد الثراء المتزايد طبقة تملك من المال ما يكفي لتصرف جزءاً منه على الترفيه. وصار في وسع من يعطيهم قصصاً للقراءة، الحصول على مكاسب طائلة. وأدّت الرفاهية أيضاً إلى تكوين نخبة من الأكاديميين الذين يرفلون بأثواب العيش الهانئ. فبين القرنين الخامس عشر والسادس عشر، قفز عدد الجامعات في أوروبا من عشرين إلى سبعين جامعة. وقدّمت الكنائس هبات لطابعي الكتب المقدسة وأدلة الصلوات. لقد تفتحت سوق ذات إمكانات هائلة. وخاض غوتنبرغ سباقاً ضارياً مع عدد ممن سعوا للتوصل إلى اكتشاف أساليب تُيسّر الطباعة، وسبقهم. وبحلول العام ١٤٣٩ أنتج مجموعة من الكتب المطبوعة على طابعة تستعمل الألواح المتحركة.

ولم تصلنا أيّ من تلك الأعمال المُبكرة. ويقترن اسم غوتنبرغ راهناً بالتوراة، التي طبع منها ٦ نسخ في وقت واحد، ونشرها في العام ١٤٥٦.

لم تجعل الطابعة غوتنبرغ ثريّاً. ولو أن قوانين براءات الاختراع درجت في القرن الخامس عشر، لكان غوتنبرغ هو بيل غيتس ذلك الزمان. لم يتلق أتعاباً مناسبة من مئات ممن استعملوا ابتكاره. وسرعان ما انهارت أعماله، بعد انفصاله عن شريكه في المطبعة. لكنه حافظ على علاقته مع الكنيسة التي تبنّته وأمنت له عيشاً لائقاً حتى اللحظة الأخيرة من عمره.

لقد أشار غوتنبرغ إلى الطريق، فاندفعت الكتب سيولاً. ونقل الطبّاعون مهاراتهم إلى بلدان مختلفة. وتأسست المطبعة الأولى في إيطاليا سنة ١٤٦٤. وظهرت المطبعة في باريس عام ١٤٧٠، وفي لندن سنة ١٤٧٦. ومع بداية القرن السادس عشر، راجت الطباعة المتحركة في أوروبا كلها، ما عدا روسيا، وطُبع ٨ ملايين كتاب لنحو ٤٠ ألف عنوان. وأدى النمو الانفجاري في العرض إلى توسٌع انفجاري في الطلب. وتطور نظام التعليم، بحيث شمل ملايين من البشر. وباتت القراءة ضرورية للجميع.

الميكروسكوب والتيليسكوب: سهّلت الطباعة تطوّر العلم الحديث الذي وُجد نتيجة تقنيات الزُجاج والعدسات. لم تكن العدسات ابتكاراً جديداً. وراجت في أوروبا والصين منذ القرن الثالث عشر، حين صُنعت من كوارتز، وليس من الزُجاج.

وبالنسبة إلى نظارات القراءة، لا بأس باستعمال الكوارتز، اقلّه بالنسبة لمن يشكو من ضعف في بصره. أما في المختبرات، فإن الكوارتز لا يفي بالغرض. ولم تدخل العدسات حقل العلم إلا في القرن السادس عشر، حين طُوّرت وسائل لصقل الزُجاج وتنقيته من الشوائب. ومع عدسات الزُجاج النقية، ظهرت أداتان تقنيتان: الميكروسكوب والتيليسكوب. وبفضلهما، أُنجزت مجموعة من الاكتشافات المهمة التي وضعت العلم في الطريق الصاعد الذي ما فتئ يسير فيه.

ظهر الميكروسكوب والتيليسكوب في القرن السابع عشر. وابتكر الميكروسكوب الألماني زاخاريس يانسن الذي صنع أول أداة بعدستين مُكبِّرَتين سنة ١٥٩٠. واستطاع ألماني آخر صنع ميكروسكوب قوي باستخدام عدسة وحيدة. ويُنظر إلى التيليسكوب أيضاً كابتكار ألماني.

وعادة يُنسب هذا الابتكار إلى صانع عدسات اسمه هانز ليبرشاي، من مدينة ميدلبرغ، عاصمة ولاية زيلاند الألمانية. ويُروى أن ليبرشاي، أو أحد تلامذته، توصل إلى صنع التيليسكوب مصادفة، في خريف سنة ١٦٠٨، نتيجة مشاهدة كنيسة البلدة بواسطة عدستين. وطلع ليبرشاي بفكرة جمع العدستين في أُنبوب صلب. وباع ابتكاره إلى الحكومة الألمانية التي تنبّهت سريعاً إلى أهميته العسكرية، فحاولت إبقاءه سراً. ولم يُكتم أمره طويلاً. ففي الربيع التالي، بيعت التيليسكوبات على أرصفة شوارع باريس. وفي يوليو / تموز سنة ١٦٠٩، وصلت أخبارها إلى أُذني عالم رياضيات إيطالي اسمه غاليليو غاليلي.

تجارب غاليليو: وُلِد غاليليو في مدينة «بيزا» في ١٥ فبراير / شباط ١٥٦٤. وصمّم والده الضليع من الرياضيات أن يوجه الابن لدرس الطب. لكن غاليليو انجذب إلى

الرياضيات، وخصوصاً بعد متابعته دروساً في الهندسة، وقراءته أرخميدس، فقرر تكريس حياته لذلك العلم.

وعلى عكس معاصريه الذين ألفوا اللجوء إلى السؤال الشهير: «ما الذي قاله أرسطو؟»، آمن غاليليو بأهمية التجربة.

وفي السبعة عشر عاماً، توصّل إلى اكتشافه الأول المهم، أثناء متابعته دروساً في الطب. فخلال قدّاس في كنيسة «بيزا»، لاحظ أن الشمعدان المتدلّي من السقف، كان يتأرجح فوق رؤوس الحاضرين. وتبيّن له أن أوقات الجفاف، تزيد من مدى تأرجح الشمعدان، لكن الوقت الذي يستغرقه لقطع مسافة الذهاب والأياب لا تتأثر بمدى ذلك التأرجح. وتابع تجاربه على «الرقّاص» في المنزل، واكتشف أن تأرجحه يعتمد على طوله، وليس على المسافة التي يقطعها ذهاباً وإياباً.

قضى غاليليو عشرين سنة، بعد تخرجه، مدرسّاً للرياضيات. فعمل في جامعة «بيزا» ثم في «بادوا». واهتم بعلم الميكانيكا، وخصوصاً بحركة الأجسام الساقطة التي لم تكن دراستها سهلة في زمن لم تُكتشف بعدُ الساعات الميكانيكية. وسرعان ما توصّل إلى إثبات حقيقة مُهمة: مُعدل سقوط الأجسام لا يعتمد على كتلتها. وخالفت تلك الحقيقة ما نادى به أرسطو، واعتُبر شأناً مُسلماً به. وعمد غاليليو إلى درس تدحّرج الكرات على سطح مائل، واستطاع أن يحسب معدل سقوطها، من دون استخدام الساعة. وقاده الأمر إلى ثلاثة اكتشافات أخرى. تمثّل الاكتشاف الأول في ملاحظته أن الكرات التي تسقط من علو معين، لا تتأثر بالزاوية التي تبدأ منها حركة السقوط. ونَصَّ الثاني على أن سرعة سقوط الأجسام يتعرض لتسارع مستمر، وذلك على عكس ما نادى به أرسطو الذي اعتقد بأن سرعة سقوط الأجسام ثابتة.

ويمكن النظر إلى اكتشافه الثالث باعتباره الأهم، لأنه يقرر وجود علاقة دقيقة بين العلو الذي تسقط منه الأجسام والمدة التي تستغرقها للوصول إلى الأرض. وبيّن أن تلك المسافة تعادل زمن السقوط مضروباً بنفسه.

فمثلاً، يقطع الجسم الساقط في ست ثوان مسافة تساوي أربعة أضعاف تلك التي

يقطعها في ٣ ثوان. ولعبت هذه المُعادلة دوراً كبيراً في توصّل إسحق نيوتن لاحقاً إلى صوغ «نظرية الجاذبية الكونية».

واكتشف غاليليو أيضاً أن المسار الذي تتخذه أجسام مثل قذائف المدفعية، يعتمد على سرعة سقوطها الحُرّ وقوة الدفع إلى الأمام. وأبدى عسكريو أوروبا، وعلماء الفلك فيها، اهتماماً كبيراً بهذا الاكتشاف.

ويأتي أحد الاعتراضات الدائمة على نظرية كوبرنيكوس عن حركة الكواكب السيّارة، من القول إن دوران الأرض حول نفسها يولد قوة طاردة كبيرة، مما يجعل الأشياء غير الثابتة على سطحها تُقذف إلى الفضاء، وهذا ما ينفيه الأمر الواقع. وجاء اكتشاف غاليليو ليُثبت وجود قوة تشد الأجسام إلى الأرض، أكبر من القوة التي تتولّد من دوران الأرض حول نفسها. وبذا، وجد غاليليو سنداً لنظرية كوبرنيكوس عن الأفلاك السماوية، وجعلها أكثر قدرة على الإقناع.

غاليليو والبابا: عندما سمع غاليليو بتيليسكوب ليبرشاي سنة ١٦٠٩، لم يكن يعرف شيئاً عن تركيبه. لكن ما وصله من أوصاف مكّنه من صنع تيليسكوبه الخاص، بقوة تكبير تساوي ٣ أضعاف. وبذا، ضمن مقعده في قطار الحوادث الكبرى التي صنعت شكل مستقبل العلم، ومستقبله الشخصي أيضاً.

وبعد شهر، استطاع زيادة قوة التيليسكوب عشرة أضعاف. وبمساعدة تلك الأداة البسيطة، رصد مجرة «درب التبّانة»، وقسّمها إلى مجموعات مُستقلة.

وكذلك راقب الأقمار التي تدور حول المشتري، مراقبة قدّمت دليلاً إضافياً على أن الأرض ليست المركز الذي تدور حوله الأجرام السماوية كلها. ونظر بجرأة إلى البُقَع الشمسية (وتسبّب بأذى دائم لعينيه)، واستعملها في قياس سرعة دوران الشمس على محورها.

وقادته ملاحظاته، وخصوصاً بالنسبة إلى أقمار المشتري، إلى ترسيخ اقتناعه بصحة نظرية كوبرنيكوس عن دوران الأرض والكواكب السيّارة حول الشمس. ولم ترق تلك

الاقتناعات للكنيسة. وسنة ١٦٣٢، واعتقاداً منه بأن البابا أوربان السابع لن يُحارب أفكاره العلمية، نشر غاليليو كتابه «حوار بين النظامين الرئيسين في العالم» الذي يُعتبر من أبرز الكلاسيكيات في العلم، لكنه كاد يودي بحياة مؤلِّفه.

ففي مواجهة حركة الإصلاح، أبدت الكنيسة مزيداً من التصلب في محاربة الخارجين عن تعاليمها، وعلى نحو أكبر مما كانه أيام كوبرنيكوس. ولاقى كل من تجرأ، في بلد كاثوليكي، على نشر أفكار تُعارض ما جاء في الكتب الدينية أو ما نَصّت عليه السلطات الكَنَسيَّة، رد فعل حاداً من البابا. وفي عينَي الكنيسة الكاثوليكية، ظهر غاليليو كرجل تخطّى الحدود. ألم يقل إن الشمس، التي رأتها الكنيسة كاملة، مُشوهة بالبُقَع؟ ألم ينحز إلى نظرية كوبرنيكوس التي تعارض نظرة الكنيسة إلى علاقة الأرض بالشمس؟ وأسوأ من هذا وذاك، ألم ينشر أفكاره المُتحدّية للكنيسة في كتاب «حوار»؟

لقد بلغ المدى الأقصى في ذلك المؤلَّف، حين وضع النقاشات المُعارضة لنظرية كوبرنيكوس على لسان شخص سمّاه «سيمبيليسيو» («الرجل الساذج») وقدّمه ككاريكاتور عن البابا نفسه! وفي عمر يقارب ٦٩ سنة، أُحضِرَ غاليليو إلى محكمة التفتيش، وأُجبر على إنكار أفكاره، تحت طائلة الإعدام حرقاً، عن دوران الأرض حول الشمس. وقضى ٨ سنوات في الإقامة الجبرية، وأُرغم على دراسة مواضيع غير مثيرة للجدل. وبعد ذلك بنحو ٤ سنوات، خذلته عيناه اللتان آذاهما التحديق في الشمس، وتوقف غاليليو عن التطلّع إلى النجوم ومات.

الفلكي تايكو براهيه: ثمة رجل ربما تمنّى غاليليو أن يتحدّث معه عن مُشاهدته في تلك الليلة من خريف سنة ١٦٠٩، حين أدار التيليسكوب الأول إلى المجرة. لكن الرجل قضى قبل ذلك بثماني سنوات، قبل أن تُصنع تلك الأداة الفلكية. كان اسمه تايجه (وباللاتينية تايكو) براهيه، ولعله أعظم مُراقب للسماء بالعين المُجرّدة على مرّ العصور.

وُلدَ تايكو سنة ١٥٤٦ في عائلة تقطن مقاطعة «كنودستروب» في جنوب السويد. وعندما بلغ ثلاثة عشر عاماً من العمر، تسجّل في جامعة كوبنهاغن حيث درس القانون

والفلسفة. وفي العام ١٥٦٠، شهد كسوفاً للشمس، فاقتنع بالانتقال إلى درس الرياضيات والفلك. وكطالب، أظهر طباعاً حادة في النقاش، مع ميل إلى التكبّر، وقد رافقه ذلك طوال عمره، حتى حين تعامل مع البلاط. وفي التاسعة عشرة، قادته حدّة طِباعه إلى مبارزة جُدِعَ فيها أنفه، فاضطر الأطباء عندئذ إلى تركيب واقٍ معدني فيه.

وبعد دراساته في لايبزيغ وروستوك وأوغسبُرغ، عاد تايكو إلى مسقط رأسه حيث وعده عمّه بأن يبني له مرصداً. وفي العام ١٥٧٢، لاحظ نجماً جديداً في مجموعة «كاسيوبيا». كان ذلك أول «نوفا» («نجم جديد») يُرصد في أوروبا تاريخياً، فعُرف مذّاك باسم «نجم تايكو». وشعّ بقوة طوال عام ونصف العام، قبل أن يذوي ويختفي. وفي بعض الأوقات، بدا «نجم تايكو» أشد التماعاً من كوكب الزهرة.

دوّن تايكو مشاهداته في كتابه «حول نجم جديد». ووضع فيه برهاناً يشير إلى أن هذا النجم أبعد من القمر عن الأرض، وهذا يعارض الأفكار السائدة في ذلك الحين. وقدّر بعده بنحو ٥ بلايين كيلومتر، وتبيّن لاحقاً أنه أقل من الحقيقة. لكن الرقم بدا خارقاً في نظر مُعاصريه. وهزّ اكتشاف نجم جديد الأوساط العلمية في أوروبا، كأنه قصف الرعود.

ففي القرن السادس عشر، ظلّل العلم خيال أرسطو الذي أعلن أن السماء كاملة ولا تتغيّر. وظنّ كثيرون أن تايكو مُخطئ في مُشاهداته. فلم يكن من سؤال في العلم لا يمكن الإجابة عنه انطلاقاً من سؤال وحيد: «ما الذي قاله أرسطو عن هذا الموضوع؟».

ضمن النجم الجديد لتايكو شهرة مدوية. وفي العام ١٥٧٦، منحه الملك الدنماركي فريدريك الثاني جزيرة في «هيفن»، قرب كوبنهاغن. وهناك، شاد تايكو أفضل مرصد أوروبي، وزوّده معدّات متطوّرة. وخلال العشرين سنة التي تلت، وضع كاتالوغاً حدّد فيه بدقة مواقع ٧٧٧ نجماً، وضمّنه سلسلة من الملاحظات غير المسبوقة عن حركة الكواكب السيّارة. وبلغ من دقته في رصد النجوم اللامعة، وكذلك مواقع الكواكب، حدّ أن العلم الحديث لم يُصحح أرقام تايكو إلا بمقدار دقيقة، ما يساوي ١/٣٠ من عرض البدر.

وفي العام ١٥٨٨، خلف كريستيان الرابع الملك فريدريك على عرش الدنمارك. ولم يتساهل حيال سلوك تايكو. وفي العام ١٥٩٧ استرد جزيرة «هيفن»، وألغى راتب تايكو. وفي العام ١٥٩٩، وجد تايكو في الإمبراطور رودولف الثاني ولياً جديداً. وسرعان ما منحه الإمبراطور قلعة خارج براغ. واستقر فيها مع معداته التي جلبها من «هيفن»، لكن أعماله في رصد النجوم لم تستمر سوى سنتين.

وإضافة إلى دليله عن النجوم، أسهم تايكو في علم الفلك مساهمة فاعلة. وكان أول من صحّح مُشاهدته عبر احتساب أثر الغلاف الجوي على الضوء الذي يصل الأرض من النجوم. ولم يتعدَ الفرق بين حسابه لمدة السنة والحسابات الحديثة، سوى ثانية.

قوانين كيبلر: قبل أن يصل تايكو إلى براغ في العام ١٥٩٩، أسعفه الحظ بلقاء عالم رياضيات ألماني، عمره ٢٩ سنة، واسمه يوهان كيبلر. وسرعان ما اتخذه تايكو مساعداً له. ووجد كيبلر في تايكو رجلاً مُتطلّباً، وهدده عدّة مرات بأن يتركه. ولم يمهله الزمن لتحقيق وعيده، فقبْل أن ينفذ تهديده بالرحيل، مات تايكو. وسرعان ما عُيّن كيبلر فلكياً في البلاط الملكي بديلاً منه. وإضافة إلى كونه عالم رياضيّات متمكناً، تعمّق كيبلر في الدين، وآمن بوجود مبدأ جامع يسيطر على حركة الأفلاك السماوية. وألهمه ذلك الإيمان صوغ بضع مُعادلات تلائم حركة الكواكب التي تناولتها دراسات تايكو المُدقّقَة.

ولطالما افترض علماء الفلك قبلاً أن مدارات الكواكب يجب أن تكون دائرية. ووضع كيبلر هذا الافتراض قيد التمحيص. ولم تناسب حركة الكواكب الدوائر الكثيرة التي جرّبها كيبلر. لذا، لجأ إلى أشكال أخرى. ولاحظ أن مواقع النجوم والكواكب والأقمار تغدو قابلة للشرح، إذا كانت مداراتها إهليلجية.

وبذا، توصّل إلى صوغ قانونه الأول:

١ ـ تسافر الكواكب السيّارة في مدارات إهليلجية، وتبقى الشمس في المركز منها.

وكشفت دراساته اللاحقة أن الكواكب تسير بسرعة أكبر في الأجزاء الأقرب إلى

الشمس، في مداراتها. ويشير الفرق في سرعتها إلى معادلة رياضياتية صاغ منها قانونه الثاني:

٢ ـ الخط الذي يصل بين الشمس والكوكب السيّار، يرسم مساحات متساوية في فترات متساوية.

ثم عكف على درس العلاقة بين بُعد الكوكب عن الشمس والوقت الذي يستغرقه ليكمل مداره. واكتشف أن تلك العلاقة يمكن صوغها في معادلة بسيطة، جعل منها قانونه الثالث:

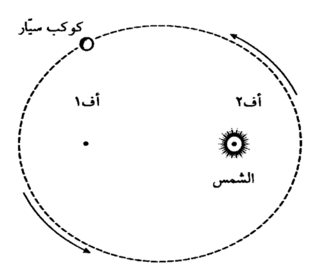
٣ ـ إن تربيع الزمن الذي يستغرقه الكوكب ليكمل مداره، يتناسب طردياً مع تكعيب متوسط المسافة التي تفصله عن الشمس.

ومع القانون الثالث، وضع كيبلر سلاحاً ماضياً في يد الفلكيين. ولأنهم يعرفون المسافة التي تفصل بين الأرض والشمس، والمدة التي يلزمها لإتمام دورة حولها، سهّل القانون الثالث معرفة موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس في جميع الأوقات.

أمضى كيبلر في البحث عن القوانين التي تهيمن على حركة الكواكب مدة عشرين عاماً أثمرت نصراً غيّر تاريخ علم الفلك. لقد هندس كوبرنيكوس هذه الثورة، وأزاح الأرض من موقعها المركزي المُفترض في الكون، وبقي عبداً لفكرة أن الدائرة هي الشكل الوحيد المفهوم لحركة الأجرام السماوية. ولا يزال مُخططه عن الأفلاك مرتبطاً بأفلاك كروية الشكل. أزال كيبلر جميع تلك الافتراضات. واعتمد مخططه للأفلاك على كواكب حرّة الحركة، تسافر في مساراتها عبر الفضاء الواسع، فلا تفصلها كرات بلورية عن النجوم. ورسم كيبلر للكواكب مدارات إهليلجية، يمكن تحديد أشكالها بواسطة معادلات رياضية مُبسّطة.

وقد يُدرج كيبلر في عداد كبار علماء الرياضيات، فضلاً عن كونه مُراقباً دؤوباً. لكن ثمة سؤالاً راوده ولم يعثر له على إجابة.

ففي حصيلة دراسته سرعة الكواكب السيّارة في مداراتها، والعلاقة الصارمة التي تربط بين زمن المدار وبُعد الكوكب من الشمس، بات كيبلر مقتنعاً بأن قوةً ما تنبع من الشمس وتلعب دوراً مركزياً في تحديد تلك المسارات وأزمنتها. ولكن ما هي تلك القوة؟ وما هي القوانين التي تتحكم فيها؟ لم يستطع كيبلر التوصل إلى جواب عن هذا السؤال. واقتضى الأمر ظهور عملاق آخر في الرياضيات، إسحق نيوتن الذي وُلد بعد وفاة كيبلر بـ١٢ سنة، ليُتوصل إلى الإجابة.



الشكل ٦: قانون كيبلر الأول

تدور الكواكب في مدارات إهليلجية مركزها الشمس.

الدورة الدموية: وُلِدَ وليام هارفي في بلدة «فولكستون» بمقاطعة كنت، في العام ١٥٧٨، فكان البكر لعائلة تاجر ثري. درس في جامعة كامبريدج، ثم انتقل إلى جامعة «بادوا» الإيطالية، حيث درس الطب في إشراف عالم التشريح هايرونيميس فابريكوس.

وقادته كلية الطب في «بادوا» إلى عالم التشريح، فاكتسب من المعارف ما أهّله ليُحقق إنجازاته اللاحقة. وبعد تخرّجه طبيباً، عاد إلى انكلترا. ونال شهرة واسعة أوصلته ليكون طبيب الملك جايمس الأول، ثم الملك تشارلز الأول. وأعطاه ذلك متعة لمواصلة درس التشريح، وليقود برنامجاً منهجياً للأبحاث في مجال عمل القلب ووظائف الدم. استنتج هارفي أن القلب عضلة تضخ الدم عندما تنقبض. واحتسب كمية الدم التي يضخّها القلب في ساعة، فوجد أنها تفوق وزن الجسم، فاستنتج أن من الصعوبة على الجسم أن يُصنّع كمية كتلك ويُدمّرها بمثل هذه السرعة. واستخلص أن الدم يُعاد تدويره. ولاحظ وجود صمامات تضبط سريان الدم في اتجاه واحد. وتتوزّع تلك الصمامات بين أقسام القلب، والأوردة. لذا، توصل إلى استنتاج مفاده أن الدم في الأوردة يدور في اتجاه واحد: نحو القلب. ثم عمد إلى ربط الشرايين، ولاحظ سريعاً أن الدم يتجمّع إلى الجهة الأقرب للقلب. وعززت تجاربه كلها اعتقاده بأن الدم يدور في الجسم. وشرع هارفي في تدريس نظرياته في العام ١٦١٦.

وفي العام ١٦٢٨، عندما بلغ الخمسين من العمر، نشر كتاباً (باللاتينية) صنع له شهرته تاريخياً: «عن حركة القلب والدم في الحيوانات». وراهناً، يُعَدُّ هذا الكتاب واحداً من كلاسيكيات العلم وتاريخه. أما عند نشره، فقد قوبل بالاستهزاء والسخرية.

وُجِدت مُشكلة أصيلة في ذلك الكتاب، هي عدم قدرته على شرح الطريقة التي ينتقل فيها الدم من الشرايين إلى الأوردة. ولم يجد هارفي حلاً لتلك المُعضلة رغم دأبه في التشريح وتمكّنه من علومه. فكيف له أن يعرف أن الدم يدور في شبكة هائلة من «الشعيرات» من دون أن يمتلك الميكروسكوب؟

لقد فكّر الفيلسوف اليوناني غالين في أن الشرايين والأوردة تندرج في سياق نظام مُتصل مهمته نقل السوائل المختلفة في الجسم.

وسادت تلك النظرة الحكيمة نحو ١٤٠٠ سنة. وحاجَّ هارفي ضدّ تلك النظرية، مقترحاً أن الشرايين تنقل الدم إلى الأوردة، عبر أوعية غير مرئية. ولم يكن قوله هذا سوى تخمين. واحتاج مُعاصروه إلى دليل قوي ليرفضوا التعاليم المستقرة لغالين العظيم. ولذا،

صبّوا سيولاً من الاستهزاء على أفكار هارفي. وتضررت سمعته العلمية كطبيب نتيجة لذلك.

وبمرور السنين، تغيّرت الأمور لمصلحته واستعاد شهرته. وعاش ليرى أفكاره تُحقق نصراً وتُلاقي قبولاً. ولم تثبت نظرياته علمياً إلا في العام ١٦٦١، بعد وفاته بأربع سنوات، حين ظهر عالم فيزيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) إيطالي، اسمه مارسيلليو مالبيغي. وفي جامعة بولونيا الإيطالية، وبفضل الميكروسكوب، أثبت مالبيغي أن الدم ينتقل من الشرايين إلى الأوردة عبر شبكة واسعة من الشعيرات الدقيقة. وبرهن على وجودها في نسيج أُخذ من رئة ضفدع. وهكذا، ظهر الدليل على صحة نظرية هارفي.

ويعتقد بعضهم أن الفضل في اكتشاف الدورة الدموية لا يرجع إلى هارفي، على الأقل ليس إليه وحده. ففي القرن الثالث عشر، قدّم الطبيب العربي ابن النفيس القرشي مساهمة مهمة، إضافة إلى أن أطباء من الصين كتبوا عن الموضوع نفسه، وقبل ولادة هارفي بمئات السنوات.

ويرى آخرون أن الأعمال الصينية مرّت عبر اليد العربية وإسهاماتها، لتصل إلى الإنكليزي هارفي عبر جامعة «بادوا» الإيطالية. وفي المقابل، لم تحمل الكتابات الصينية تصوراً واضحاً، بل ارتكزت على مفهوم غائم قوامه «الجوهر».

ويرجع الفضل في اكتشاف الصمامات في الأوردة إلى أساتذة هارفي في إيطاليا، الذين عرفوا أيضاً «الدورة الدموية الصُغرى» التي ينتقل فيها الدم بين الرئتين والقلب. ويجب الإقرار بأن هارفي شرح مهمة الصمامات في الأوردة، ودورها في توجيه الدم، واكتشف «الدورة الدموية الكبرى» التي تشرح انتقال الدم من القلب إلى أعضاء الجسم، ثم عودته إلى القلب مُجدداً. وإذ يميل كثير من مؤرخي العلم الإنكليز إلى إعطائه مكانة مرموقة، فإنه يجدر كذلك تذكّر دور أساتذته في إيطاليا والعلوم التي انتقلت إليهم أيضاً.

وظائف القلب: اكتشف وليام هارفي حقيقة الدورة الدموية الكبرى، لكنه لم يتحقق من وظيفتها. واستلزم الأمر ثلاثين سنة لكي يظهر طبيب إنكليزي آخر اسمه ريتشارد

لووارا، ليُبيّن أن الدم الأدكن اللون في الأوردة يتحوّل إلى دم أحمر قان في الشرايين، بسبب احتكاكه بالهواء. وبعد مئة عام، ظهر عالم فرنسي في الكيمياء، أنطوان لافوازييه، لكي يكتشف العنصر الحيوي، الأوكسجين الذي يلعب دوراً أساسياً في وظائف الدم، فضلاً عن دوره في التمثيل الغذائي للجسم.

يُعدُّ القلب أضخم عضلة في الجسم. ويتعين أن يكون كذلك إذ يؤدّي جهداً خارقاً. ويعتبر المضخة الأكفأ على الإطلاق. ففي كل دقيقة، وعلى مدار العمر، يضخ القلب كمية تراوح، بحسب الجهد، بين ٤ ليترات و٢٤ ليتراً من الدم. ويُسيّر تلك الكمية في الجسم، ويرسلها إلى الرئتين لكي يُعاد شحنها بالأوكسجين اللازم للحياة ولعمل أعضاء الجسد، بما فيها الدماغ. ومع ذلك، يبلغ إجمالي كمية الدم التي يحوزها نحو خمسة ليترات.

الجمعية الملكية: بين عامي ١٦٦٠ و١٧٠٠، شهد التاريخ الإنكليزي حقبة استثنائية من الاكتشافات العلمية، ربما كانت الأعظم في تاريخه، ويرجع بعض الفضل فيها إلى رجل ليس من العلماء. ففي العام ١٦٦٠، انتهت فترة الجمهورية البيوريتانية التي أعقبت الحرب الأهلية. وأُعيدت الملكية تحت قيادة تشارلز الثاني الذي قضى والده تشارلز الأول على المقصلة. وعاش تشارلز الثاني ١٥ عاماً من النفي، قبل عودته إلى العرش، فصمم على ألاّ يعاني ذلك مُجدداً. وانصبّ اهتمامه على تجنّب المواجهات الحادة بين الفرق الدينية، والتي زعزعت حكم أبيه.

وتضافر طبعه الهادئ مع الحاجة السياسية، لخلق جو من التسامح وحرية الفكر، مما سمح بازدهار العلم. وفي العام ١٦٦٢، اغتبط لرؤية اسمه يعلو وثيقة تأسيس «الجمعية الملكية في لندن»، التي صارت نبعاً للاكتشافات العلمية طوال نصف القرن التالي.

لم تكن «الجمعية الملكية» التي أسسها تشارلز الأولى في نوعها. فسبق لفلورنسة أن أسست «اكاديمي ديل سيمانتو» («أكاديمية الاختبار») التي خلّفت، بدورها، «جمعية الليسيه» التي اشتهرت أيام غاليليو. وأدى انهيار الجمعية الفلورنسية إلى إفقاد إيطاليا تلك

المؤسسة. وفي باريس، تأسست «أكاديمية العلوم»، قبل خمس سنوات من «الجمعية الملكية»، لكنّها كانت مؤسسة عامة تموّلها الدولة. وتميَّزت «الجمعية الملكية» بأنها ناد راق للنخبة، وليست مؤسسة تموّلها الحكومة. وترجع جذورها إلى مجموعة من الرجال المهتمّين بالعلم (وقد مُنعت النساء من عضويتها)، الذين دأبوا على الاجتماع والتراسل مع العلماء حتى العام ١٦٤٥. وعلى الرغم من الحصانة الملكية، فإنها لم تكن مؤسسة عامة، ولم تتلقَ معونات من الدولة. وقد قدّمت نموذجاً لما ستمارسه الأجيال اللاحقة تحت اسم «شبكات».

وخلال نصف قرن تلا، اقتصرت عضويتها على نخبة من العلماء الإنكليز اللامعين، مثل نيوتن وهوك وهالي وورين وغيرهم، إضافة إلى أندادهم الأوروبيين، من طراز ليفونهوك وهيغنز. وعبر هذا المنتدى، وفي ذلك المناخ، لم يكن من المُفاجئ أن يُعطى العلم قوة دفع هائلة.

مفهوم نيوتن عن الجاذبية: في العام ١٦٦٥، أُصيبت لندن بالطاعون الذي نشر فيها الذعر. وفرّ من ساعدته وسائله إلى الخارج. وأُغلق الكثير من المؤسسات العامة في لندن وغيرها من المدن، خلال فترة الوباء، وضمنها جامعة كامبريدج. وبذا، عاد أكاديمي في الثانية والعشرين من العمر إلى مزرعة أمه في «لينكولن شاير». وقد تسجل إسحق نيوتن في كامبريدج في السنة التي تلت عودة تشارلز الثاني إلى العرش. ثم تخرج من دون تفوق يُذكر. لكنه برع في الرياضيات على نحو استثنائي. وبعد عودته إلى منزل أمه، انغمس في نشاط ذهني خلال ١٨ شهراً، فوضع أُسس ما يُتفّق على أنه أهم عمل مُفرد في تاريخ العلم.

وكالكثير من العلماء العباقرة، مثل داروين وآينشتاين، لم يُظهر نيوتن علائم على نبوغ مبكر. واستطاع عمّه الذي يعمل في جامعة «ترينيتي» إقناع والدته بأن ولدها قد يستفيد من فترة من التعليم الجيّد. وحصل العمّ على مكان لنيوتن في «ترينيتي» كطالب يدفع أُجور تعليمه من خدمة الطلاب الأثرياء.

ولم يتميّز في الامتحانات الأكاديمية، لكنه استطاع إنجاز دراسات مُبرّزة في الرياضيات. وخلال الشهور التي أمضاها في المنزل العائلي، طوّر ما يُسمّى راهناً المعادلة ذات الحدّين، التي مهدت لظهور معادلات التفاضل والتكامل المتطورة. وفي الوقت عينه، تابع أبحاثاً في موضوع الضوء. وكأن ذلك كله لم يكفِ لإشغال دماغه، فقد انكبّ كذلك على درس ميكانيكا الأفلاك أيضاً، التي تدرس حركات الأجرام السماوية.

تناول نيوتن المسألة التي شغلت أذهان من رفضوا القول إن الأرض تدور حول نفسها. وتتلخّص المسألة في أنه لو صح أمر ذلك الدوران، لنتجت منه قوة طاردة هائلة تقذف الأشياء إلى السماء.

وتبدّى لنيوتن ضرورة وجود قوة ما أشدّ تُمسك بالأشياء على الأرض. وأجرى حسابات دقيقة لحركة «رقّاص» طويل. واستطاع أن يحتسب القوة التي يعود بها إلى الوسط. وتبيّن له أيضاً أن القوة الطاردة «للرقّاص» عن سطح الأرض تقلّ بمقدار ثلاثمئة مرّة عن تلك التي تعيده إلى موقعه الوسط، أثناء تأرجحه.

وفي خطوة تالية، تصدّى لمشكلة القمر بغية معرفة السبب الذي يمنعه أيضاً من الطيران بعيداً من الأرض. واستنتج أن ثمة قوّة تشدّ القمر إلى الأرض شداً يكفي لإبقائه في مداره الثابت حولها. وعندما قارن بين القوة التي تمسك بالقمر والمسافة التي تفصله عن الأرض، بحسب قوانين كيبلر، وجد أنها تعادل إلى حد كبير، القوة الطاردة التي تتولد من دوران القمر حول الأرض. وبعبارة أخرى، فإنها لا تكاد تكفي للاحتفاظ بالتابع المنير في مدار ثابت بحيث لا يطير مبتعداً في الفضاء.

ادعى نيوتن أن تفاحة سقطت على رأسه في حديقة منزل أُمه، فألهمته نظريته عن الجاذبية. ولا يتوافر دليل على صحة ذلك الادعاء ولربما ابتكر تلك القصة. وقد تكون خدمت ميله إلى احتكار الفضل في نظرياته لنفسه، واستبعاد إسهامات العلماء الآخرين في التوصّل اليها. إن قصة التفاحة جذّابة، وربما كانت صحيحة أيضاً!

أيّاً يكن مصدره، فإن ذلك الإلهام كان قوياً. لقد اكتشف نيوتن المبدأ الذي يجمع

تفسير سلوك الأجسام على الأرض، مثل التفاح، وأجرام سماوية مثل القمر. ولكي يتوصّل إلى ذلك المبدأ، وجب عليه رفض أفكار ترجع إلى أيام أرسطو تقول إن الأرض والأفلاك تمثّل مجالات منفصلة، وتتحكم في كل منها قوانين مختلفة. وأدخل إلى العلم مبدأ لم يكن معروفاً عن قوة غير منظورة بدت وكأنها تشبه السحر، لأنها تعمل من بُعد. وتستطيع تلك القوة الخفية أن تُمسك بالقمر في مدار ثابت حول الأرض، واستطراداً، فإنها أيضاً ما يشدّ الكواكب البعيدة في مداراتها حول الشمس. ويصعب راهناً، خصوصاً في ظل اعتياد فكرة الجاذبية زمناً طويلاً، تخيّل مدى ثورية تلك الأفكار والصدمة الهائلة التي أحدثتها، في ذلك الزمان.

يفوق ما فعله نيوتن مجرد التفكير المحض في فكرة الجاذبية، بل إنه برهن على المعادلات الرياضية التي تتضمّنها. وجسّد استنتاجاته العويصة العميقة في جُمل بسيطة، بحيث يتمكّن الجميع من فهم مغازيها. فقد جمع الشاعر الإنكليزي ألكسندر بوب إنجازات نيوتن في بيتين من الشعر، يصعب إيجاد نظير لهما في البساطة والقدرة على التعبير:

الطبيعة وقوانينها كانتا كامنتين في ظلمة الليل

وقال الخالق: «ليكن نيوتن»، فأضاء كل شيء

الجاذبية الكونية: ارتكزت نظرية نيوتن على إنجازات لعلماء وخصوصاً كيبلر وغاليليو. فقد أوضح كيبلر طبيعة مدارات الكواكب حول الشمس، ووضع معادلات رياضية عنها. واكتشف غاليليو قوانين سقوط الأجسام. وبذا، تجلّى إنجاز نيوتن مزدوجاً؛ إذ توصّل إلى معرفة المبدأ الذي يجمع قوانين كيبلر وميكانيكا غاليليو. كما أعطى برهاناً رياضياً على أن قوانين كيبلر لم تكن حالات خاصة تقتصر على مجموعة من الكواكب بعينها، بل إن تلك القوانين تنجم عن قوة تعمل في الكون كله.

وعمد نيوتن إلى صوغ قانون الجاذبية الكونية في عبارات سهلة:

تجذب الأجسام بعضها بعضاً بمقدار:

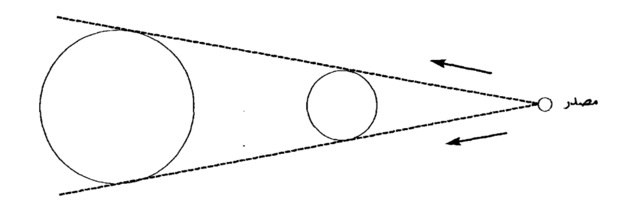
أ ـ يتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما،

و

ب ـ يتناسب عكسياً مع تربيع المسافة التي تفصلهما.

قدّمت تلك العبارات البسيطة فهماً لا يُضارع للعمليات الطبيعية. وكذلك مكّنت من شرح المدّ ووزن النجوم والسير على سطح القمر.

كتاب «البرينكيبيا» لنيوتن: أرسى نيوتن قواعد نظرية الجاذبية قبل أن يبلغ الخامسة والعشرين عاماً. واستغرق عشرين عاماً أخرى قبل أن ينشر الكتاب الذي جعله معروفاً في العالم. ففي العام ١٦٦٧، عاد إلى كامبريدج.



الشكل ٧: قانون نيوتن عن عكس تربيع المسافة.
تنتشر الجاذبية مثل الضوء، وبعد مسافتين، تنتشر في أربعة أضعاف المساحة التي انطلقت منها، وتنخفض قوتها الى ربُع ما كانته.

وفي العام ١٦٦٩، عُيّن أستاذاً لكرسي الفيزياء في تلك الجامعة. واشتمل المنصب، لحسن الحظ، على قليل من المهمّات التعليمية، فقد كان مُحاضراً مُملاً! وتمكن من تلخيص نظريته عن الجاذبية في كلمات قليلة وبسيطة. ولشرح تفاصيلها، وضع كتاباً استعصى فهمه، إلا على قلّة من أكاديميي ذلك العصر. ويُروى أن أحد الأريستوقراطيين رصد مبلغ ٥٠٠ جنيه

استرليني (ما يوازي راهناً خمسين ألفاً) لمن يشرح له ذلك الكتاب! لماذا تأخر نيوتن في إصدار كتابه عشرين عاماً؟ الأرجح انه أمر سيبقى غامضاً. صحيح أنه لم يهتم كثيراً بإيصال نتائج أبحاثه إلى العالم، وردّد كثيراً أنه سعى دوماً إلى إرضاء ذاته، وليس لحيازة شهرة جارفة. وفي المقابل، فقد سُرّ لانتخابه عضواً في «الجمعية الملكية» في العام ١٦٧٢. ولم يدخر وقتاً للتواصل مع أعضائها إلى شرح بعض اكتشافاته في حقل الضوئيات.

كذلك استرعت اهتمامه أشياء مثل الخيمياء، والأبحاث عن المعاني الخفية في النصوص الدينية. ومن ناحية ثانية، فلو كان واثقاً كلياً من صحة نظرياته عن الجاذبية، لما تأخّر في نيل ما يستحقه من شهرة ومجد علميين.

وما كان أشد أصدقائه قرباً منه، لو وُجد مثل ذلك الصديق، ليجرؤ على وصف نيوتن بالشخص المُحبّب، رغم التسليم بكونه عظيماً! لقد امتلك طبعاً لئيماً وانتقامياً، ولم يكن ليقبل أدنى جدل أو مخالفة في الرأي. ورأى دوماً أنه على حق. وقد يذهب بعضهم إلى نسبة بعض تكتمه إلى إحساس أصيل لديه بعدم الأمان، ربما نتيجة فروق ضئيلة بين حساباته ومشاهداته.

أيّاً يكن السبب، فنتيجة ضغوط مارسها أعضاء «الجمعية الملكية»، أعاد صوغ أفكاره في كتاب «مبادئ الرياضيات للفلسفة الطبيعية»، الذي نشره في العام ١٦٨٧.

وجرياً على عادة عصره، كتب ذلك المؤلَّف باللغة اللاتينية. واشتهر باسم «برينكيبيا نيوتن». وبعد مرور ٥ سنوات، قبل نيوتن تبنّي كلمة «جاذبية» لتُعبّر عن القوة الكونية التي اكتشفها. وقبل وفاته بسنتين، ظهر ذلك المؤلف باللغة الإنكليزية بعد نشره باثنين وأربعين عاماً.

نيوتن وممر القطة: اعتبر ألبرت آينشتاين نيوتن أعظم عالم في التاريخ البشري. ومع ذلك، لم يُسعف نيوتن ذكاؤه في حلّ الكثير من المشكلات. ويؤثر عنه أنه اصطنع فتحة في أسفل باب غرفته، لكي تمرّ منها القطة من دون أن تُشتت انتباهه.

وعندما أنجبت القطة صنع لصغارها فتحات مماثلة!

الكتلة والوزن: أوضحت جاذبية نيوتن الفرق بين الكتلة والوزن. تُعبّر الكتلة عن كميّة المادة في جسم ما، في حين يشير الوزن إلى القوة التي تشدّ بها الجاذبية تلك الكتلة. فمثلاً، لرائد فضاء كتلة تبلغ سبعين كيلوغراماً على سطح الأرض، فتبقى هي نفسها على سطح القمر. لكنه يزن على الأرض سبعين كيلوغراماً، أما على القمر فينخفض وزنه إلى ١٤ كيلوغراماً. وعند وصوله إلى المدار ينعدم وزنه كلياً. لذا، يتحتّم على رواد الفضاء دوماً التنبّه إلى الطريقة التي يزنون بها. ولا يؤدي استخدامهم ميزان الحمام إلى مُشكلة تذكر، لأنها تقيس أوزانهم. أما لو افتُرض أنهم وضعوا في ميزان ضخم ذي كفتين، ووضع في الكفة الأخرى ما مقداره سبعون كيلوغراماً، فلن يتغيّر القياس بين سطحي الأرض والقمر، فتلك الميازين تقيس الكتلة وليس الوزن.

مذنّب إدموند هالي: إذا صحّ ما قيل عن إعراض إسحق نيوتن عن التواصل مع الآخرين، فهل يصح القول إنه لم يكن ميّالاً لتأليف الـ «البرينكيبيا»؟.

يميل بعضهم إلى القول أن ذلك المؤلف كُتب ونُشر بفضل جهود نفر قليل من المقربين إلى نيوتن، العبقري الحاد الطباع والمُصاب بعقدة اضطهاد.

كان إدموند هالي طالباً ثرياً. تسجل في أوكسفورد، وحضر اليها مُزوّداً بتيليسكوب له عدسة طول قطرها سبعة أمتار. وغادرها من دون الحصول على درجة جامعية. وفي مرحلة ما قبل التخرّج، تبادل هالي عدّة رسائل مع الفلكي جون فلامستد، عضو «الجمعية الملكية»، بشأن أخطاء في بعض الجداول الفلكية المنشورة.

وسرعان ما انغمس فلامستد في إعداد جداول مُحسّنة عن نجوم السماء الشمالية. وعكف هالي على تنفيذ جداول عن نجوم السماء الجنوبية. ولذا، أوقف دراسته الأكاديمية وسافر إلى جزيرة سانت هيلانة على نفقة والده، باعتباره رئيساً لبحث فلكي. وعاد إلى لندن، وهو في الحادية والعشرين من العمر، لينتخب عضواً في «الجمعية الملكية».

حقق هالي مجموعة من الإنجازات العلمية التي تشير إلى أصالته العلمية. فقد وضع الجداول الأولى عالمياً والتي تدلّ على التغيّر في الحقل المغناطيسي عبر البحار. وأثبت،

للمرة الأولى، أن لبعض النجوم حركة خاصة. وبرهن عن ذلك مقارناً مواضع ثلاثة نجوم، هي «سيريس» و«بروسيون» و«أركتوريس»، في أيامه، بمواضعها السابقة المُسجّلة أيام بطليموس وتايكو براهيه.

واستنتج أن الفارق حدث بسبب من تحرك تلك النجوم، وهو أمر أُثبت علمياً بعد قرنين! قدّم هالي خدمة جُلى للعلم عندما أقنع نيوتن بأن يكتب «البرينكيبيا». وخلّد اسمه بسبب شيء ما حدث بعد موته.

فعندما بلغ الخامسة والعشرين من العمر، شاهد مُذنّباً كبيراً في العام ١٦٨٢. وقد حفزّه ذلك على درس تاريخ المُذنّبات الكبيرة التي شوهدت في الماضي. وصُدم للتشابه بين أوصاف ما لوحظ في الأعوام ١٤٥٦ و١٥٣١ و١٦٠٧، وما شاهده في العام ١٦٨٢. وفي العام ١٧٠٥، كتب ورقة بحث اقترح فيها أن تلك المشاهدات ترجع إلى مُذنب يدور حول الشمس في مدار مدّته نحو ٧٥ عاماً. ربما يبدو الأمر بديهياً في أيامنا، ولكن في العام ١٧٠٥، بعد ١٨ عاماً من نشر «البرينكيبيا»، لم يبد ما قاله هالي منطقياً. وقد تنبأ بأن ذلك المُذنّب عينه سيعاود الظهور في العام ١٧٥٨.

وامتد العمر به ليصل إلى ٨٥ سنة، لكنه لم يعش ليتحقق من فرضيته. وفي العام ١٧٨٥، بعد وفاته بـ ١٦ عاماً، وصل المُذنّب الموعود. وأحدث وصوله دوياً، لأنه أعطى البرهان العملي الأول على صحة مقولات نيوتن، فأدخل علم ميكانيكا النجوم في سن النضج.

ومنذ ذلك الحين، عاود مُذنّب هالي، كما صار يُسمّى، الظهور بانتظام. وظهر أخيراً في العام ١٩٨٦، فتوقّع العلماء بثقة أن يعاود الظهور في العام ٢٠٦١. ولأنه لم يكن قريباً من الأرض، لم يُثر ذلك المرور انتباهاً كبيراً. ومن المتوقع أن يكون على مسافة قريبة من الكوكب الأزرق في العام ٢١٣٧، وهذا ما سيجعل عبوره مشهدياً. ووصل ذلك المُذنّب راهناً إلى منتصف مداره الخارجي.

وفي العام ٢٠٠٣، التقط «التيليسكوب الكبير جداً» المُثبّت في جبل «برنال» في التشيلي، صورة له من مسافة أربعة بلايين كيلومتر. ويبلغ طول نواته عشرة كيلومترات،

ويعكس أربعة في المئة مما يصله من نور الشمس، أي ما يساوي مقداراً أقل ببليون مرة من ضوء أكثر النجوم خفوتاً.

ألوان الضوء: خلال ١٨ شهراً أمضاها نيوتن في مزرعة أُمّه، درس على نحو عميق سلوك الضوء، فقاده للاعتقاد بأنه مكوّن من عدة أنواع. ومع معرفته بأن الموشور الزُجاجي يحني خطوط الضوء، قرر نيوتن استخدامه لدرس تركيب الضوء. لم يكن أول من درس خصائص الموشور الضوئية، لكن الذين سبقوه ركزوا على قدرة الموشور على ثني أشعة النور.

وسعى نيوتن إلى درس ذلك الموضوع من زاوية أخرى. ووضع موشوراً زُجاجياً على بعد ٧ أمتار من الحائط، فظهر أن أشعة الشمس تتكسّر أثناء مرورها فيه، وكذلك تُعطي مجموعة من الألوان تشبه قوس قُزَح.

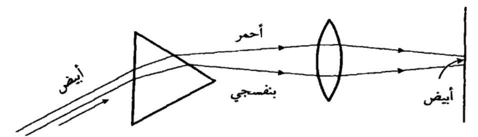
وأدرك نيوتن أن ذلك لا يكفي لإثبات أن الألوان كانت موجودة في الضوء قبل عبوره الموشور، فلربما حدثت بفضل خصائص فيه.

ولذا، وضع عدسة بين الحائط والموشور، لكي تعيد تجميع خطوط النور في نقطة واحدة، فعاد الضوء إلى لونه الأبيض. واستخلص نيوتن من تلك التجربة ٣ أمور:

١ ـ إن ضوء الشمس يتألف من سبعة ألوان مختلفة.

٢ ـ إن معدّل انكسار الضوء في الزُجاج يتفاوت بين لون وآخر.

٣ ـ إن ذلك المُعدل يتدرّج عبر ألوان الطيف الضوئي.



الشكل ٨: تجربة نيوتن على ضوء الشمس.

عندما يمر ضوء الشمس في موشور، تتكسر خطوط الأشعة بزوايا تختلف بحسب ألوان الطيف. وعند إعادة تجميعها بواسطة عدسة، يعاود اللون الأبيض لضوء الشمس الظهور مُجدّداً.

لم يكن نيوتن أول من لاحظ قدرة الزُجاج على تحويل الضوء الأبيض للشمس إلى مجموعة من الألوان. لقد كانت تلك الظاهرة مألوفة منذ ابتكار الزُجاج النقي.

وظنّ الجميع، قبل نيوتن، أن الزُجاج هو الذي يحوّل الضوء إلى ألوان. وتمثّل إنجاز نيوتن في إثبات أن الألوان هي شيء أصيل في الضوء بنفسه. ولم يجد ذلك الاكتشاف تطبيقاً عملياً في تلك الأيام، لكنه شكّل الأساس لتكنولوجيا علمية جديدة، قياس الطيف الضوئي، التي أحدثت ثورة في علم الفلك لاحقاً.

قوس قُزَح: برهنت تجربة موشور نيوتن للمرة الأولى أن ألوان قوس قُزَح مُتضمّنة في ضوء الشمس. وقد شُرحت ظاهرة قوس قُزَح قبل ولادة نيوتن. يحدث قوس قُزَح من تكسّر ضوء الشمس عند عبوره خلال قطرات الماء، كما يُلاحظ في المطر وعند حوافي الشلالات. تعمل كل قطرة ماء مثل عمل الموشور الزُجاج. وبعد مروره عبر الوسط المائي، يخرج الضوء حُزماً من ألوان تكوّن قوس قُزَح. وترتسم في السماء قوساً لأن الغلاف الجوي يحيط الأرض بشكل كُروي.

ويعتمد حجم القوس على مقدار الرؤية ومدى قرب الشمس من الأرض، وكذلك مقدار ارتفاع موقع المُراقب. وفي بعض الأحيان، يصاحب قوس قُزَح قوس ثانٍ، وتسير ألوانه في اتجاه مُعاكس. وينجم القوس الثاني من ضرب الضوء المُنبعث من حوافّ القرص الشمسي لقوس الغلاف الجوي، بزاوية أكثر تدرّجاً، ليمنح الضوء مساراً آخر، فيرسم قوس قُزَح ثانياً.

الطيف الكهرومغناطيسي: يشمل قوس قُزَح الطيف المرئي من الضوء، بألوانه المختلفة. ولكنها لا تُشكّل سوى جزء من طيف أوسع لا يُرى بالعين المُجرّدة.

قصير ← طول الموجة → طويل

أشعة-غاما	أشعة أكس	فوق البنفسجية	بنفسجية	حمراء	تحت الحمراء	ميكروويف	موجة قصيرة	موجة طويلة
			الضوء المرئي				موجات الراديو	

الشكل ٩: طيف الأشعة الكهرومغناطيسية

كيف نرى الألوان: يُدرج اللون ضمن الخبرات الأساسية الشائعة في الحياة اليومية، لغير المُصابين بعمى الألوان، بحيث يصعب تصديق أنه أمر لا يوجد إلا في رؤوسنا! فعندما نصف شيئاً ما بأنه أخضر أو أزرق أو أصفر، فإننا لا نصف الطبيعة فعلياً، بل نُعطي اسماً لإحساس نختبره، كما نفعل حين نصف شيئاً ما بأنه «حار بعض الشيء» أو «بارد جداً». يتكوّن الضوء المرئي من طيف متصل التدرّج من الأشعة الكهرومغناطيسية بموجات متفاوتة الطول.

وتحتوي شبكية العين على ستة ملايين خلية حساسة للضوء اسمها «القُمُع» وهي تستجيب لأطوال مُحدّدة من موجات الضوء. يحمل ثلثا الخلايا القُمعية تسمية «أحمر»، وتُسجل موجات الضوء الواقعة بين البنفسجي والأحمر، والتي تكوّن الضوء المرئي، في ما يُسمّى المنطقة الحمراء من الطيف الضوئي. وتحت الخلايا القُمعية الحمر طبقة من الخلايا القمعية «الخضر»، وتؤلّف «الخلايا القُمعية الزرق» الاثنين في المئة الباقية من الشبكية.

يعرّف الدماغ لون الشيء من خلال كثافة الإشارات الكهربائية الآتية من تلك الأنواع الثلاثة من الخلايا القُمعية. ولذا، تُصنّف الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق، بأنها ألوان «أوليّة»، في حين تُصنّف بقية الألوان أنها «ثانوية».

ولأن اللون يمثّل إحساساً عقلياً، وليس حقيقة فيزيائية، تُستَدرَج العين لـ«رؤية» ما يُسمّى الألوان الطبيعية التي تأتي من موجات مختلفة من الضوء. ويُجسّد التلفزيون المُلوّن أكثر الأمثلة شيوعاً راهناً على هذا الاستدراج. وتتألف صُوَره من الألوان: القرميدي والأصفر والأزرق.

وتختلف أطوال موجات الضوء المُكوّنة لتلك الألوان عن نظيراتها التي تؤلف الألوان الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق). ولكن الدماغ يعمل على «تقريب» ما يراه مما يملكه، إذ يضع الألوان الآتية من صور التلفزيون عند خلايا أكثر الألوان قرباً اليها في شبكية العين.

بضعة أنواع من الضوء: في الأيام الشامسة، يظهر بوضوح أن الضوء يأتي من مصدر حار. يكوّن التوهّج مصدراً لضوء الشمس، ولمعظم الأنوار في الكون. لم تخف تلك الحقيقة عن نيوتن ولا عن أرسطو. وعندما فكّر مُعاصرو نيوتن في دلالة الجذر التربيعي في قانونه عن العلاقة بين الأرض والشمس اللتين تفصلهما مسافة هائلة، أدركوا أن الشمس تمتلك حرارة هائلة. لكن، ماذا عن مصدر تلك الحرارة؟ وما الذي يُغذيها؟ وكيف تستمر طوال الوقت؟ لم يسهل العثور على أجوبة عن تلك الأسئلة. ولم يشرع اللغز في الانكشاف إلا بعد قرنين من زمن نيوتن.

وإذ يُعدّ التوهّج أهم مصدر للضوء على الأرض، فإنه ليس مصدره الوحيد. وتنبعث أنوار من أجسام باردة، ويسُمى ذلك التلألؤ (ليومينسانس). وتأتي في أربعة أنواع:

١ ـ التلألؤ البيولوجي (بيوليومينسانس): يصدر الضوء من مصدر مثل فراش الحُباحب المضيء ليلاً، فيكون مصدره تفاعلاً كيمياوياً في أجساد الحيوانات.

٢ ـ التلألؤ الفوسفوري (فسفوسانس): ينجم عن تسرّب تدريجي للطاقة المُختزنة في بعض المواد، مثل الدهان الفوسفوري. يجري امتصاص تدريجي للطاقة من أشعة الشمس، وتُستنفد تدريجياً بالتحوّل إلى ضياء.

٣ ـ الإستشعاع (فلوريسانس): في هذه العملية، ينجم الضوء عن تحوّل سريع للطاقة التي تمتصُّها بعض الأجسام عبر موجات الأشعة فوق البنفسجية، إلى ضوء يشعّ في الظلام عل نحو مرئي.

٤ ـ التلألؤ الومضي (تريبو ليومينسانس): نوع من الضوء يطلق كومض سريع، نتيجة تحطّم بعض أصناف البلورات.

سرعة الضوء: ثمة سؤال دار في خلد غاليليو، لكنه لم يجد جواباً عنه: «هل يسير الضوء بسرعة مُحدّدة؟» أجاب أرسطو عن السؤال عينه بالنفي، وثبتت إجابته في أذهان الفلكيين حتى القرن السابع عشر. وفي محاولة للتثبت من صحة ما اعتقد به أرسطو، أجرى غاليليو تجارب على سرعة انتقال الضوء بين تلّتين، وقف على إحداهما، وأرسل

معاوناً له إلى الأخرى، طالباً إليه أن يُصدر إشارة ضوئية فور رؤيته ضوءاً يصدر منه (غاليليو). وافترضت التجربة أن التأخير يدلّ إلى سير الضوء بسرعة مُحدّدة. بدت فكرة التجربة سديدة، لكن التلكؤ الذي لوحظ بدا هيّناً إلى حدّ أنه أُرجع منطقياً إلى التأخر في رد فعل غاليليو أو مساعده.

وفي العام ١٦٧٢، نجح الفلكي الدنماركي أول (أولاس) رويمر، في استعمال تيليسكوب بسيط، بعدما فشل غاليليو. ترعرع رويمر في أسرة لأب يعمل في السفن. وولد في أرهاس، المدينة الثانية من مُدن الدنمارك، في العام ١٦٤٤. درس الفلك في كوبنهاغن. وفي العام ١٦٧١، عندما بلغ السابعة والعشرين، دُعي إلى باريس ليعمل مساعداً للفلكي الفرنسي جان بيكار.

مكث في ذلك المنصب حتى العام ١٦٨١، حين عاد إلى موطنه الدنمارك، وعُيّن فلكياً في بلاط الملك. عمل بيكار أستاذاً لعلم الفلك في جامعة «كوليج دو فرانس». واستطاع التوصّل إلى أول قياس دقيق لمحيط الكرة الأرضية، بالارتكاز إلى انحدار النجوم، وليس الشمس على غرار ما فعل الإغريقي إيراتوثينث في الإسكندرية من قبل. وأدى استعمال النجوم التي تُشبه النقطة، بدلاً من الشمس التي تماثل الدائرة، إلى زيادة الدقة في الحساب. وقدّمت قياسات بيكار برهاناً لنيوتن على صحة حسابات الأخير عن الجاذبية الكونية.

وأشرف بيكار على جهود تلميذه الإيطالي جيوفاني كاسيني، في رصد حركة توابع المُشتري، رصداً أدّى إلى وضع تقدير دقيق لزمن ظهور تلك التوابع واختفائها. وراقب رويمر الطريقة التي أُنتجت بها تلك الحسابات.

وبفضلها، لاحظ أيضاً أن وقوف الأرض والمشتري على الجانب نفسه من الشمس، ومن ثم تقاربهما، يؤدي دوماً إلى التبكير في موعد كسوف الشمس. وأما عندما تقف الأرض في جانب من الشمس، والمشتري في الآخر، فيتأخّر الكسوف.

وفي لحظة إلهام، خمّن رويمر أن ذلك التفاوت يرجع إلى الوقت الذي يستغرقه الضوء لعبور تلك المسافة. فعندما تكون الأرض والمشتري على الجانب نفسه من الشمس، فإن

أحدهما لا يبعد عن الآخر سوى ٦٥٠ مليون كيلومتر، وعندما يكونان في جانبين مختلفين بالنسبة إلى الشمس، ترتفع تلك المسافة إلى ٩٥٠ مليون كيلومتر.

واستنتج رويمر أن الفرق في الزمن بين الملاحظات المبكرة والمتأخرة، يرجع إلى الزمن الذي يقطعه النور المُنبعث من توابع المُشتري، ليقطع المسافة الإضافية التي تبلغ نحو ٣٠٠ مليون كيلومتر. واستناداً إلى هذا الاستنتاج، احتسب سرعة الضوء فوجد أنها ٢٢٠ ألف كيلومتر في الثانية. وأعلن تلك النتائج في اجتماع عقدته «أكاديمية العلوم» في باريس في العام ١٦٧٦. ولم يُحدث الإعلان أثراً كبيراً بين مُعاصريه، رغم ميل علماء كبار من وزن بيكار وهيغنز ونيوتن إلى تأييده. وتُحدّد الدراسات العلمية الحديثة سرعة الضوء بنحو ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية، أي أكثر مما سجّله رويمر بنحو ٢٥ في المئة. ولا يعود الفرق إلى خطأ في منطقه ولا في طريقته في الحساب، بل إلى أن الرقم الذي شاع وقتذاك عن مقدار مدار الأرض، لم يكن صحيحاً. يُفترض بمن يُعرّف التكنولوجيا بأنها محض تطبيق علمي، أن يراجع نفسه؛ إذ يثبت ما سبق التوصّل إلى حقيقة علمية، بأن الضوء له سرعة مُحددة، وإثباتها، لم يكن ممكناً من دون أداة تكنولوجية مثل التيليسكوب.

النظر إلى الماضي: قدّم قياس سرعة الضوء للإنسانية حقيقة أخرى مُذهلة: عندما ننظر إلى الفضاء، فإننا ننظر إلى الماضي! عندما نتأمل القمر، فإننا نرى ما كانه قبل ١,٥ ثانية. عندما نرى الشمس، فإنما نطالع ما كانته قبل ٨ دقائق. عندما نرصد «السديم العظيم» في مجرة «أندروميدا»، أقرب المجرّات إلى مجرّتنا، فإننا نرى حالها قبل مليوني سنة. أما حين نمد النظر إلى أبعد المجرات المرئية، فإن ما يصل عيوننا هو صورة الكون قبل ١٠ بلايين سنة!

سرعة الهروب: بُعيد هبوط رواد المركبة «أبولو ١١» على سطح القمر في العام ١٩٦٩، بادر هؤلاء إلى رفع العلم الأميركي المُزين بالخطوط وبالنجوم. ولكان أمراً مناسباً لو أنهم، قبيل مغادرتهم ذلك التابع المُضيء، كتبوا عبارة «نيوتن مرّ من هنا». يُنظَر إلى

السفر في الفضاء على أنه فعلياً تطبيق علمي. وتضرب جذور تلك التقنية في مفهومين أساسيين في نظرية نيوتن عن النجوم: سرعة الهروب وقوة الدفع.

لو أُطلق سهم عمودياً إلى السماء، فإن الارتفاع الذي يبلغه يعتمد على سرعته عند الانطلاق. وبدءاً من لحظة تركه القوس، تعمل الجاذبية الأرضية على إبطائه. ويتوقّف عن متابعة الارتفاع، عندما تفوق تلك الجاذبية قوة اندفاعه إلى أعلى. يحدث أمر مُشابه للمركبات الفضائية التي تُشبه سهماً منطلقاً صوب النجوم.

وفيما يتحتّم على السهم السقوط إلى الأرض، فإن لدى مركبات الفضاء خياراً آخر، ذلك أن مقدار السرعة التي تبلغها بعيد الانطلاق، تُمكن أي جسم من الإفلات إلى الأبد من جذب الأرض له.

يُسمّى ذلك المقدار سرعة الهروب، وتتفاوت قيمتها بين جرم فضائي وآخر. وتعتمد قوة الجاذبية عند سطح كوكب ما، على شيئين: كتلة الكوكب، والمسافة من مركزه. يُلاقي الجسم المنطلق من سطح الكوكب شدّاً من الجاذبية يتناقص بمقدار متناسب عكسياً مع المسافة التي تفصله عن ذلك الكوكب. وعلى سطح الأرض، تكون الأجسام على مسافة ٦٤٠٠ كيلومتر من مركزها. وعند الارتفاع إلى مسافة ٦٤٠٠ كليومتر فوق سطح البحر، تنخفض قوة الجاذبية ٧٥ في المئة.

وبقول آخر، إن مضاعفة المسافة التي تفصل جسماً ما عن مركز الأرض، تخفض قوة الجاذبية إلى الربع. وعند ارتفاع ٣٢ ألف كيلومتر، لا يتبقّى من جاذبية الأرض إلا ٤ في المئة منها. ونتيجة خفض قوة الجاذبية مع الابتعاد عن الأرض، ثمة مستوى لسرعة الانطلاق يضمن ألا توقف الجاذبية المركبة المُنطلقة. وعند سطح الأرض، تُقدر قيمة سرعة الهروب هذه بنحو ١١ كيلومتراً في الثانية.

كثيراً ما يُساء فهم دلالة سرعة الهروب. وفي الممارسة العملية، لا يتعيّن على المركبات أن تُقلع بمثل تلك السرعة. وبقليل من التأمل، يمكن إدراك أن مركبات الفضاء تحتاج دفعاً رفيقاً ومستمراً لكي تواصل ارتفاعها ببطء إلى الفضاء، حيث بإمكانها الهرب من جاذبية الأرض بسهولة. وما يُعقّد تلك العملية الرقيقة أنها تستغرق وقتاً طويلاً، حتى لو توافر لها ما يكفي من الوقود.

وما يحدث فعلياً هو أن المركبات تُطلق بسرعة تزداد مرة كل خمس دقائق، حتى وصولها إلى ارتفاع ١٦٠٠ كيلومتر. وعندئذٍ تصل سرعتها إلى ستة كيلومترات في الثانية، توضع في مدار دائري حول الأرض، فتنطلق منه لمتابعة رحلتها الفضائية.

تعتمد تكنولوجيا الإبحار في الفضاء على تقنية أخرى: قوة الدفع. وثمة فرق بين السرعة وقوة الدفع التي تُساوي حاصل ضرب الكتلة بالسرعة. لنفترض أن قطارين مُتماثلين ينحدران في وادٍ بسرعة ٨٠ كيلومتراً في الساعة، تلزم قوة أكبر لفرملة الأثقل، لأنه يحوز قوة دفع أكثر. وإذا فشلت عملية الفرملة، فإن القطار الأثقل يتحطم بشدّة أعلى من نظيره الأخف وزناً.

وبالطريقة نفسها، تلزم كمية أكبر من الطاقة لإيصال مركبة فضاء مُحملة بالأثقال إلى سرعة الهروب، مما يلزم مركبة خالية. صرف مهندسو السُفن الفضائية الأولى أوقاتاً طويلة للتفكير في حلّ للخروج من الدائرة المقفلة المتمثّلة في أن الحاجة إلى طاقة أكبر تقتضي كمية أكبر من الوقود، مما يثقل وزن المركبة ويزيد بالتالي من الطاقة اللازمة لدفعها! وتمثّل الحلّ في مخازن وقود متعددة الطبقات، بحيث تتخلّص المركبة من أجزاء منها كلما ارتفعت إلى الأعلى، حتى تصل إلى المدار المطلوب.

تجسّدت الأخبار المُفرحة لمهندسي سفن الفضاء المخصصة للوصول إلى القمر، في أن سرعة الهروب من سطح القمر أقل كثيراً من نظيرتها على الأرض. ورغم ضيق المسافة التي تفصل سطح التابع المنير عن مركزه، فإن كتلة القمر أقل من كتلة الأرض بثمانين ضعفاً. وينجم عن ذلك أن قوة الجاذبية القمرية أقلّ بكثير من نظيرتها الأرضية.

ولذا، تمكّن الذين ساروا على سطح القمر من القفز عالياً بسهولة، رغم ثقل ملابسهم وتجهيزاتهم، كما انطلقت مركبتهم من القمر لتعود إلى السفينة الأم بيُسر. ونظرياً، يحدث أمر مُعاكس لدى الوصول إلى الكواكب الضخمة.

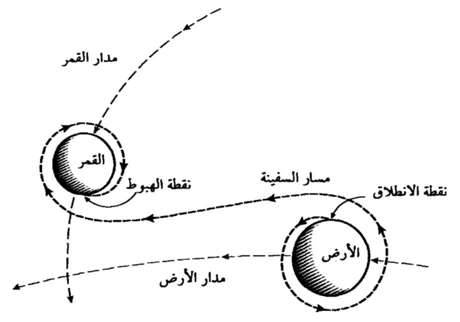
وإذ تفوق جاذبية المُشتري جاذبية الأرض بمقدار ٢٫٥ ضعف، تكون سرعة الهروب على سطحه ٦٠ كيلومتراً في الثانية.

الهروب من القمر: سؤال: إذا كانت سرعة الهروب على سطح الأرض ١١ كيلومتراً في الثانية، ووزن القمر أقل من وزن الأرض بثمانين مرّة، كما يبلغ شعاع القمر ١/٤ (ربع) شعاع الكرة الأرضية، فكم هي سرعة الهروب على سطح القمر؟

جواب: تُولّد كتلة القمر مقداراً من الجاذبية يساوي ١/٨٠ مما لدى الكوكب الأزرق. وفي المقابل، فإن قِصَر شعاع القمر إلى رُبع ما للأرض، يجعل نسبة الجاذبية على سطح القمر أكبر من نظيرتها على الأرض بنحو ١٦ ضعفاً! وفي الحصيلة، فإن قوة الجاذبية على سطح القمر تساوي حاصل ضرب ١/٨٠ مع ١٦، أي ما يُساوي ١/٥ من جاذبية الأرض. ولذا، تُساوي سرعة الهروب على سطح القمر ١/٥ سرعة ١١ كيلومتراً في الثانية، أي ما يعادل ٢,٤ كيلومتر في الثانية.

حساب المدارات: يتعلّم صائدو الغزلان بسرعة أن لا جدوى من تصويب بنادقهم إلى الأيائل السريعة العدو، لأن الرصاصة يلزمها وقت لتبلغ هدفها، فلا تُصيب الغزال الراكض.

وعلى النحو عينه، لا جدوى من توجيه سفن الفضاء إلى القمر مباشرة، إذ أنها لن تجده حين وصولها اليه. وفي هذا المعنى يشبه علم الإبحار في الفضاء القنص في وجوب



الشكل ١٠: رسم مُبسّط لرحلة الى القمر.
يُظهر الرسم مبدأ التخطيط لتلك الرحلة وليس مسارها الفعلي.

التصويب إلى نقطة يُتوقّع إصابة الهدف عندها. وتسير سفن الفضاء في مسار أكثر تعقيداً من الرصاصة المُصوّبة من البندقية إلى الغزال.

ففيما البندقية ثابتة، فإن منصة إطلاق السفن ليست ثابتة، بل تتحرّك بسرعة تساوي معدل دوران الأرض على نفسها، أي ٨٠ ألف كيلومتر في الساعة، وفي اتجاه ذلك الدوران أيضاً. ولا يُحس رواد الفضاء بهذه المشكلة، حين يصعدون إلى مركبتهم قبل انطلاقها، لأنهم يدورون أيضاً بسرعة الأرض واتجاهها. ويُعدّ الأمر مُشكلة عويصة لمُخططي رحلات استكشاف الفضاء. ويقتضي أن يُضيفوا حساب الحركة التي تتشارك فيها المركبات مع سطح الأرض، إلى المسار الذي يجب أن تتخذه لملاقاة القمر في نقطة ما من مداره الذي يتحرّك به حول الأرض أيضاً. وتُحلّ تلك المُشكلة باتخاذ سفن الفضاء مساراً لولبياً، يجمع بين حركة الأرض وسرعة المركبة إلى الأعلى، والتي توصلها إلى القمر، إضافة إلى مسار لولبي لكي تهبط على سطحه أيضاً.

وتُلائم تلك الحسابات المُعقّدة عمل الكومبيوتر.

قوى الدفع وأنواعها: تُسمّى قوة الدفع لشاحنة تسقط في منحدر قوة الدفع الخطيّة. فيما يُشار إلى قوة الدفع في أنظمة مثل الأرض أو القمر باسم قوة الدفع ذات الزاوية. وتتبع الحركات قانوناً مُنسجماً اسمه حفظ قوة الدفع، الذي ينص على أن قوة الدفع يمكن نقلها، لكن لا يمكن تدميرها. عندما تصطدم كرة في لعبة البلياردو بأخرى، فإن قوة الدفع في الكرتين بعد اصطدامهما تساوي تلك التي تحويها الكرة المتحركة. ويقضي القانون عينه بأن يتمدد مدار القمر كلما تباطأت الأرض، بحيث تُحفظ قوة الدفع الزاويّ في النظام المُتشكّل منهما.

هيغنز و«رقّاص» الساعة: بين نشر كتاب كوبرنيكوس في العام ١٥٤٣ وموت غاليليو في العام ١٦٤٢، حقق علماء الفيزياء والفلك إنجازات كبرى.

ولكن، في منتصف القرن السابع عشر، واجه العالمان كلاهما مُشكلة هددت بتوقّف تقدّمهما. تمثّلت تلك المُشكلة في قياس الوقت. لقد حقّق غاليليو عملاً عظيماً ولم يستخدم سوى الساعة المائية وسرعة نبضه.

صحيح أن الساعات الميكانيكية عُرفت منذ القرن الرابع عشر، لكنها استطاعت قياس الساعات وليس الدقائق ولا الثواني. كذلك لم تكن قياساتها دقيقة، حتى أنها تُخطئ نصف ساعة يومياً.

ووجد الفلكي والفيزيائي الدنماركي كريستيان هيغنز، حلاً لتلك المُشكلة، فأعطى العلم إذ ذاك أداة أساسية للعمل. وُلِد هيغنز في العام ١٦٢٩، أي أنه سبق نيوتن بأربعة عشر عاماً. تربى في كنف أب يعمل مسؤولاً في الحكومة الدنماركية، مما رجّح التوقّع بأن يعمل الابن في السلك الديبلوماسي. وقضى سنتين في درس الرياضيات والقانون في جامعة «لايدن»، تلتهما سنتان خُصصتا لدرس القانون في جامعة «بريدا». وحافظ هيغنز على حبه للرياضيات. وعندما بلغ العشرين، هجر طموحاته الديبلوماسية، وبمباركة أبيه ودعمه المالي، قرر أن يُكرس نفسه للعلم.

واشتغل سبعة عشر عاماً متواصلة في الأبحاث، في منزل العائلة الآمن والهادئ. ولدى بلوغه السادسة والعشرين، اكتشف طريقة لصقل العدسات جعلها تُعطي صوراً أوضح من أي وقت مضى. ثم صنع التيليسكوب من العدسات التي طوّرها، ممهداً بذلك لسيل من الاكتشافات مثل ملاحظة «السديم الكبير» في مجموعة «أوريون» النجمية، والحلقات التي تُحيط بكوكب زُحل، وتوابع ذلك الكوكب أيضاً، بما فيها القمر «تيتان».

يُعدّ «رقّاص» الساعة أهم إنجازات هيغنز. لم يكن أول من فكّر في استعمال تأرجح «رقّاص» في ضبط عمل الساعة.

فقد لاحظ غاليليو سابقاً الانتظام الذي تسير به حركة التأرجح في «الرقّاص». وحاول علماء آخرون متابعة ما ابتدأه غاليليو، من دون أن يُصيبوا نجاحاً. واستطاع هيغنز تحقيق اختراق علمي حاسم، حين لاحظ أن الدقة في حركة «الرقّاص» لا تأتي من تأرجُحه في قوس منتظم هو جزء من دائرة.

وتنبّه إلى أن «الرقّاص» يرسم قوساً مختلفاً، سمّاه «القوس الدوراني». وصمم «رقّاصاً» برافعة تتفق مع تلك الحسابات. وبذا، تمكن من صنع رقّاص يتأرجح عبر «قوس دوراني». و أنجز عجلات وأثقالاً تُمكّن من نقل دقة التأرجح إلى ساعة ميكانيكية. ونشر تفاصيل آلته في كتاب «الساعة» في العام ١٦٥٨. وتلاه مؤلفه الأهم «تأرجحات الرقّاص» الذي نُشر في العام ١٦٧٣. وفَصَّل الكتاب الأخير الأسس الرياضياتية «للرقّاص». كذلك استخلص مجموعة من المقولات عن طبيعة القوة الطاردة التي تتولد أثناء الحركة الدائرية، مما ساعد نيوتن على صوغ نظريته عن الجاذبية الكونية.

نيوتن وهيغنز: يعتبر هيغنز أحد أبرز العلماء الذين غطّت أعمال نيوتن على إنجازاتهم. وينطبق ذلك الوصف على عمله في الضوئيات، الذي يعطي نموذجاً عن مأساة أن يكون المرء مُصيباً في زمن خاطئ.

استندت نظرية هيغنز عن الضوء إلى اكتشافاته أثناء عمله على التيليسكوب. ففي كتابه «مقالات عن الضوء»، الذي ألّفه في العام ١٦٧٨ ولم ينُشر إلا العام١٦٩٠، عبّر عن رأي مفاده أن الضوء يتألف من موجات متتالية. وانطلاقاً من ذلك، صاغ مجموعة من القوانين الأساسية في الضوئيات. ومكنته نظرية الموجات من شرح انكسار الأشعة، وتوقع أن الضوء يبطئ سرعته عندما يعبر وسطاً مرتفع الكثافة.

ولم تثبت صحة ذلك التوقّع إلا بعد قرن. وعندما نشر نيوتن كتابه «الضوئيات» في العام ١٧٠٤، كانت شهرته ذائعة بحيث لم تلق الاعتراضات على آرائه آذاناً مصغية.

ولذا، احتاجت نظرية الجسيمات في الضوء إلى قرن لكي تصبح جزءاً من الفهم العام. وتأخّر الأمر حتى مطالع القرن التاسع عشر، حين أثبتت المختبرات محدودية فهم نيوتن للطبيعة الجزيئية للضوء. وحينذاك، تذكّر العلماء قوة نظرية هيغنز عن الضوء وقدرتها على شرح أمور استعصت على نظرية نيوتن. ومن المعروف راهناً أنه من الأفضل التفكير في الضوء باعتباره سيلاً من جسيمات، بحسب قول نيوتن.

ولكن كثيراً من السياقات التي لا تُفهم إلا باعتبار الضوء مجموعة من الموجات تنبعث

من مصدر مشترك، بحسب قول هيغنز. ولكي يُفهم الضوء حقّاً، يجدر التفكير فيه بالطريقتين معاً.

ليفونهوك وعدساته: يستحق مارسيلليو مالبيغي لقب عالم الميكروسكوب الأول، خصوصاً أن اكتشافه للشعيرات الدموية، في العام ١٦٦١، برهن على صحة نظرية هارفي عن الدورة الدموية الكبرى. وفي المقابل، فقد برع أنطون فان ليفونهوك في استعمال الميكروسكوب بمهارة. وهو ولد في العام ١٦٣٢، قبل هيغنز بثلاث سنوات، في بلدة «ديلفت» في الدنمارك، حيث قضى سني عمره. امتلك متجراً للجوخ. وقادته مهنته إلى عالم العدسات، لأن باعة الجوخ استعملوها للتعرّف على نوع القماش. وعمل أيضاً حاجباً في قاعة بلدية «ديلفت». وساعدته مهنتاه على التمرّس في هواية صقل العدسات التي تحوّلت شَغَفاً. وعند وفاته، ترك وراءه ٤١٩ عدسة مصقولة.

يُعدّ ليفونهوك مُراقباً نابهاً، وليس عالماً. وفتح عيون مُعاصريه على التنوّع الهائل في ظاهرة الحياة. ويُسجّل له أنه أول من وصف الأنواع المختلفة من كائنات بلانكتون الدقيقة التي تعيش على سطح البحار. كما اكتشف مجموعة من كائنات وحيدة الخليّة، سمّاها «إنفوزوريا». حتى أنه لاحظ وجود البكتيريا ووصفها، ولو على نحو بدائي. ولم يُضف أحد شيئاً إلى ذلك الوصف طوال قرن.

صنع ليفونهوك الميكروسكوب الأول في ستينيات القرن السابع عشر. ويُنظر إلى ما صنعه باعتباره ميكروسكوباً بسيطاً يتألف من عدسة مُحدودبة، ذات قدرة تكبير قوية. وركزها في منتصف سطح معدني، بحيث يمكن حملها باليد. ولم تكن مُريحة للنظر لكنها بدت صافية. وصُقلت بمهارة. وتفوقت في قوة تكبيرها ووضوحها على كثير من الميكروسكوبات المُركّبة التي استخدمها بعض معاصريه، والتي عانت تشوّشات في الألوان فبدت صورها مهتزّة. ولم يعلم الكثير عن علوم عصره، خصوصاً أنه لم يتقن اللاتينية. ولم يتعلّم سوى اللغة الدنماركية.

ورغم تواضع نشأته، اختير ليفونهوك عضواً مُراسلاً لـ«الجمعية الملكية» في لندن. وكتب لها أكثر من ٤٠٠ رسالة باللغة الدنماركية. ومكّنه ذلك من تعريف العالم بإنجازاته. وفي رسائله الأخيرة، منح ٢٦ من أفضل عدساته للجمعية، لكي يتمكن أعضاؤها من مراقبة العالم الجديد بعيونهم.

في العام ١٦٧٧، صار ليفونهوك الشخص الأول الذي وصف الحوين المنوي. ويعدّ ذلك من الاكتشافات الكُبرى في علم البيولوجيا. لكن وصف ليفونهوك لم يُفد كثيراً في تطوير فهم العلماء لتلك الحوينات.

فمنذ آلاف السنين، عُرف أن البشر يتكاثرون جنسياً. ولم تكن آليات ذلك النوع من التكاثر معروفة. ورغم وصف ليفونهوك للحوينات المنوية، فقد مال الرأي السائد آنذاك إلى اعتبار أن الأنثى مهمتها احتضان بذرة الرجل وتغذيتها. ولم يتغيّر هذا المفهوم إلا تحت تأثير أعمال العالم الألماني ـ الروسي فون باير الذي اكتشف بيضة الأُنثى ومبيضها، فاتحاً الباب أمام حل لغز التكاثر البشري.

نال ليفونهوك شهرة مدوّية، بحيث حرص ملوك وملكات على قطع رحلاتهم للتوقف في متجره والتفرج على عدساته. وما زالت إحداها باقية اليوم، مع طاقة تكبير قدرها ٢٧٠ ضعفاً، تمكّن من التفرّج على تفاصيل أشياء قطرها واحد على ألف من المليمتر.

وبفضل عدساته، استطاع ليفونهوك أن يُثبت وجود عالم من الأحياء الميكروسكوبية، لم تكن معروفة قبلاً. ومهّد لظهور علم البيولوجيا. ولم يبدأ اكتشافاته إلا بعد بلوغه سن الأربعين، لكنه عاش بعدها خمسين سنة، مكباً على درس كائنات فائقة الصغر.

عصر نيوتن: في تاريخ العلم، ينظر إلى القرن السابع عشر باعتباره زمن نيوتن. وبدا وكأنه الشمس التي تكسف إشراقتها النجوم. ويعني ذلك أن زمانه ضمّ كوكبة من علماء كبار، لم ينافسوه، كان من شأنهم أن يتألقوا بشدة لو لم يعاصروه.

وتضمّ تلك الكوكبة مُبرزين في علوم البيولوجيا والأرض والكيمياء، وهي علوم لم يدنُ نيوتن منها. وكذلك لا ينقص من وزنه القول إنه ما كان ليبرع فيها، ولا القول إنه ما

كان ليُحقق ما أنجزه في الفيزياء والفلك، لو ظهر قبل قرن مثلاً. الحق أنه مدّ بصره ليرى ما رآه، لأنه وقف «على أكتاف عمالقة» بحسب تعبير شهير له. لقد استطاع أن ينجز مقولاته في الفيزياء والفلك بفضل الكثير من المنجزات التي سبقته، وتراكمت إلى الحدّ الذي مكّنه من تنفيذ منجزاته.

وشهد منتصف القرن السابع عشر علوماً لم تستطع التحرك إلى الأمام قدر أُنملة. لقد اخترع أرسطو البيولوجيا، ولكن سنوات طويلة تلته من دون أن تستطيع الإنسانية تحقيق تقدّم مهم فيه.

وفي القرن السابع عشر أيضاً، بقيت علوم مثل الكيمياء والجيولوجيا والمحيطات والمناخ، كتاباً مُغلقاً ومجهولاً.

الكيمياء والخيمياء: ليس غريباً أن الشاب نيوتن لم يُحرز تقدّماً كبيراً في الكيمياء، إذ لم تكن علماً في طور التقدّم. وبنظرة استرجاعية، يمكن القول إنها كانت في مرحلة الخيمياء وليس الكيمياء. ومعلوم أن الخيمياء علم قديم يسعى للسيطرة على عناصر الأرض، وخصوصاً لتحويل المعادن «الوضيعة» إلى معادن «نبيلة». وتركّزت أحلام الخيميائيين على اكتشاف «حجر الفلاسفة»، الذي يُمكّن من تحويل الأشياء العادية ذهباً. وفي المراحل المُبكرة من دراساته، بنى نيوتن مختبراً في إحدى غُرف الجامعة، حيث خاض تجارب في تحويل المعادن. وفي زمن لاحق، أبدى شغفاً في معرفة «الوصفة السرية» التي سعت اليها شركة إنكليزية اهتمت بالتوصل إلى طريقة لتكاثر الذهب.

لم تُمارس الخيمياء بناءً على أيّ مفهوم عن تركيب المواد، ولا للعلاقات بين تلك المواد بعضها ببعض. ومورست لمئات السنين، من دون أن تضيف سوى معارف قليلة عن تركيب المواد على الأرض، ولكنها استنزفت جهوداً هائلة. ولم تُدفن تلك المحاولة العبثية إلا على يد عالم عاصر نيوتن، انتمى إلى «الجمعية الملكية»، واستطاع أن يُحوّل الخيمياء إلى كيمياء.

تجارب بويل: وُلد روبرت بويل في العام ١٦٢٧ في كنف عائلة ارستقراطية تقطن «ووترفورد» الإيرلندية. وهو الطفل الرابع عشر والإبن السابع لعمدة مقاطعة «كورك» الثري. وفي العام ١٦٤١، حين بلغ الرابعة عشرة، سافر ومدّرسه إلى البندقية، حيث سمع بوفاة غاليليو، وحفزه النبأ على درس أعماله درساً ولّد لديه ميلاً أصيلاً للعلم. وعندما عاد إلى إنكلترا في العام ١٦٤٤، استقر في بلدة «دورست». لكنه أمضى معظم أوقاته في منزل أخته في لندن، حيث تعرّف إلى مجموعة من العلماء كوّنت لاحقاً «الجمعية الملكية». وفي العام ١٦٥٤، انتقل إلى أوكسفورد، حيث استقر ١٤ سنة مجرياً التجارب التي صنعت شهرته.

كثيراً ما يشير المؤرخون البريطانيون إلى بويل باعتباره «أبا الكيمياء»، ربما من قبيل التفاخر الوطني. ويزيد الأمر التباساً أنه عمل مع فريق خلال اكتشافاته العلمية، مما يزيد صعوبة التعرّف إلى «الأب».

ولربما استحق الفرنسي أنطوان لافوازييه الذي ولد بعد ذلك بقرن، اللقب أكثر من بويل.

لم يخترع بويل الكيمياء الحديثة، لكنه حررها من بعض أثقال ماضي الخيمياء، عبر تشديده على ضرورة تأسيس حقائق الكيمياء على التجربة الموثّقة، وليس التأمل الخيالي. وقد تعددت تجاربه التي عاونه فيها دارسون متفرغون. وباستعمال مضخة الهواء التي مثّلت حينذاك أداة مبتكرة، بات بويل أول من برهن على صحة مقولة غاليليو أن الأجسام المختلفة، مثل الريشة وقطعة الرصاص، تسقط في الفراغ بالسرعة عينها. وبيّن أن الصوت لا يسافر عبر الفراغ. ويتمثّل إنجازه الأهم في صوغه مبدأ ما فتئ يحمل اسمه، ومفاده أن الحجم الذي يحتله الغاز يتناسب عكسياً مع الضغط الذي يتعرض له. فمثلاً، إذا زاد الضغط بمقدار الضعفين، انخفض حجم الغاز إلى النصف، فإذا أُزيل الضغط تمدد الغاز إلى حجمه الأول. وبذا، برهن أن الهواء قابل للانضغاط.

كما استنتج من ذلك أن الهواء يتألف من جسيمات يفصل بينها فراغ خال. ونُشرت

تلك الأفكار في كتابه «تمدّد الهواء» الذي اضطلع بدور في تثبيت الفكرة القائلة أن المادة تتألف من ذرات.

وفي العام ١٦٦١، نُشر كتاب بويل الذائع الصيت «الكيمياوي الشكّاك»، الذي تضمن فكرة ثورية مفادها أن المواد كلها يمكن تقسيمها إلى حمض وقلوي ومواد خامدة، باستعمال ما يُعرف الآن باسم المؤشرات. وفي السنة التالية، ساهم بويل في تأسيس «الجمعية الملكية».

المواد الكيمياوية: ربما تمثّل الإسهام الأهم لبويل في تطور العلم الذي عُرف لاحقاً باسم الكيمياء، في مفهوم العنصر الكيمياوي. لم تكن الكلمة نفسها جديدة. فقد استعملها الاغريق، منذ أيام إيمبيدوكليس، لوصف ما اعتبروه العناصر الأساسية الأربعة في الكون: النار والتراب والماء والهواء. لم تشكّل مفاهيم علمية بالمعنى السائد راهناً، بل إنها اعتبرت أشياء جوهرية تتجسد بطريقة غامضة في المواد الحيّة والجامدة. ورسمت العناصر الأربعة أفقاً لتفكير الإنسان لأكثر من ألفي عام.

ولم تنسجم فكرة بويل عن العناصر الكيمياوية مع ذلك المفهوم الإغريقي الأصل. وقد عرّف العنصر بأنه المادة التي لا تقبل الانفصال إلى عناصر أخرى. وقرر أن التجربة، وليس التأمل، بإمكانها أن تبرهن كون إحدى المواد عنصراً كيمياوياً أم لا. وساعدت تلك الفكرة الحديثة في صنع المناخ الفكري المناسب لنمو علم الكيمياء. وفي المقابل، لم يستطع بويل أن يهزم تأثير قرون مديدة من الخيمياء، بل استمر في الاعتقاد بإمكان تحويل المواد الشائعة إلى ذهب. ولم يرفض نظرية القدماء عن العناصر، لكنه أراد وضعها قيد الفحص بالتجربة.

اكتشاف المواد: شرع العلماء في تبنّي مفهوم بويل للعنصر الكيمياوي، على حساب النظرة القديمة إلى العناصر الأساسية الأربعة. وفي البداية، ووصولاً إلى نهاية القرن السابع عشر، لم يستطيعوا التعرف إلا على ١٤ عنصراً. تشكّلت ٩ عناصر من معادن

معروفة تاريخياً: الذهب والفضة والنحاس والقصدير والزنك والتنك والحديد والزئبق والإثمد (أنتيموان). كما عرفوا مادتين غير معدنيتين هما الكاربون والكبريت.

ووصلت قائمة العناصر الـ١٣ مع مادتين اكتشفتا في القرن السادس عشر: البزموت (في أوروبا) والبلاتين (في اميركا الجنوبية). وأما العنصر الـ١٤، فهو الفوسفور الذي اكتشفه بويل نفسه في العام ١٦٨٠.

يبقى صحيحاً أن تلك المواد اكتشفت في القرن السابع عشر، إلا أن العلم الحديث لا ينظر اليها باعتبارها عناصر كيمياوية. وراهناً، يتحدث علماء الكيمياء عن العناصر باعتبارها المواد الأساسية التي تتألف منها المواد في العالم. وهكذا، يتحدثون عن الهواء باعتباره مزيجاً من مادتين رئيستين، هما الأوكسجين والنيتروجين، مع كميات ضئيلة من غازات أخرى. ولذا، يعتبرون ثاني أوكسيد الكاربون مزيجاً من مادتين هما الأوكسجين والكاربون. ولم تكن هذه النظرة إلى الكيمياء، باعتبارها تجميعاً لوصفات تستعمل عدداً بسيطاً من العناصر الأساسية، مألوفة عند فلاسفة القرن السابع عشر.

ورغم أنهم اعتبروا النحاس والذهب والكبريت «عناصر»، فقد نظروا إلى الهواء باعتباره عنصراً أيضاً. ولم يكونوا واثقين من تصنيف النار ضمن قائمة العناصر أيضاً. وعلى عكس علماء الفلك الذين أنقذتهم الفيزياء الميكانيكية لنيوتن، ظلّ كيميائيو القرن السابع عشر يتخبطون في الظلام. وقُدّر أن ينتظروا قرناً، قبل أن يظهر من يوازي نيوتن في علم الكيمياء، وعندئذٍ اتخذ ذلك العلم موقعه المُناسب بين العلوم الطبيعية.

الكيمياء الخفيّة: يرجع السبب في تأخرّ ثورة الكيمياء إلى طبيعة الموضوع الذي تدرسه. لقد كانت الأدلة التي يحتاجها علماء الفيزياء أمام عيونهم طوال الوقت. وحتى من دون مُساعدة التيليسكوب، تمكن تايكو براهيه من تجميع جداول عن مواقع الكواكب، وهذا ما مكّن كيبلر من استخلاص قوانينه عن حركة الكواكب. وبمساعدة التيليسكوب، استطاع غاليليو مراقبة توابع المُشتري. وعندما استخدم السطح المائل

للتثبّت من القوانين التي تصف حركة سقوط الأجسام، لم يحتج إلا إلى عينيه للتوصل إلى الحقيقة. وحين جمع نيوتن قوانين غاليليو وكيبلر في قانون الجاذبية الكونية، استخدم قوة عقله دليلاً إلى صحة ما تراه عيناه. لم يُعط الكيميائيون حظاً مشابهاً، إذ لا تنكشف حقائق الكيمياء للعيون. ولم يخدمهم اكتشاف الميكروسكوب الذي فتح العيون على عالم غريب ملؤه أنواع من الكائنات لم تكن معروفة قبلاً. ولكنه لم يستطع أن يسبر طبيعة المواد وتركيبتها.

وإذا نُظِر إلى الأشياء بالاعتماد على العين وحدها، لا يختلف الماء عن الذهب أو الكبريت، أي أن تركيبة تلك المواد لا تنكشف للعين. ولا توجد طريقة لرؤية أن الماء يتألف من اتحاد غازين، وأن الهواء يتألف أيضاً من اتحادهما مع غاز ثالث، رغم أن أحد تلك الغازات يملأ الهواء والماء ويحمل سرّ النار.

وتطلب الأمر قرناً من التجارب على الطريقة التي انتهجها بويل، حتى تراكمت معرفة علمية كافية أخرجت الكيمياء من السعي إلى ما يُشبه السحر، ووصلت بها إلى مرحلة العلم.

ولقد استُغرق كثير من تلك السنوات في السعي العبثي وراء «عنصر» الفلوجستين؛ المادة التي لم توجد البتة.

خطورة الافتراضات الخاطئة: كثيراً ما يفترض الذين لم يدرسوا الاكتشافات العلمية أن المنهج العلمي يتكوّن من تجميع الحقائق، ثم تكوين فرضية تستطيع شرح تلك الحقائق. وإذا استطاعت تلك الفرضية تفسير حقائق أخرى، وتقديم توقعات صحيحة، فإنها ترتقي إلى مرتبة النظرية، حيث يمكن صوغها لاحقاً على شكل قانون مُحدّد. ويستمر القانون مقبولاً إلى أن يُدحض، أو يُعدّل، نتيجة اكتشافات تالية.

ولا تبدو أمور العلم على تطابق كبير مع الوصف السابق. فعندما يشرع العلماء في البحث عن الحقائق، أو ينغمسون في التجارب، فكثيراً ما يبحثون عن دعم لفرضية شبه متبلورة في رؤوسهم. ومن دون تلك «الفرضية»، يدخل العلماء في متاهة حيث لا يعرفون عمّا يبحثون ولا أين.

تُعطي الطريقة التي توصل بها تشارلز داروين إلى نظرية التطور عبر الانتقاء الطبيعي مثالاً عن عملية الاكتشاف العلمي. ولم يُمض داروين عشرين سنة مثلاً في جمع الحقائق عن العالم الطبيعي، ثم استنبط منها فرضية تستطيع شرحها. فالحال أن التشابه بين الطيور في مختلف جُزر خليج «غالاباغوس»، والتشابه بين أشكال الحياة في ماضي أميركا الجنوبية وحاضرها، أوحيا إليه أنها تكوّنت تدريجاً عبر عملية التطور. وبعدئذٍ، أمضى عشرين سنة في جمع حقائق تُثبت صحة فرضيته الأولى.

بهذه الطريقة، انبثقت مُعظم الاكتشافات الكبرى في تاريخ العلم.

ولسوء الحظ، إذا اجتمع لفرضية أن تكون خاطئة ومقبولة على نطاق واسع، فإنها تصبح عقبة كأداء في وجه تقدم العلم. وحدث ذلك في علم الكيمياء، في القرن الثامن عشر.

الفلوجستين ـ المادة التي لم توجد قط: اهتمت الكيمياء في القرن الثامن عشر بعملية الاحتراق. عندما تُسخّن المواد إلى درجة التوهّج، فكثيراً ما يصدر عنها شيء يشبه الدخان أو الأبخرة. وفُسّر ذلك على أنه كمية تُفقد من المادة الأصلية. وسُميّ ذلك الشيء الذي «يُفقد» فلوجستين، وهي كلمة صاغها الألماني أرنست ستال في العام ١٦٩٧. واختلف العلماء بشأن طبيعتها. وبالنسبة للبعض، بدت عنصراً مستقلاً بذاته. واعتبرها آخرون جزءاً من الطبيعة الجوهرية للنار، مُتضمنة في المواد القابلة للاشتعال، ومن دونها لا تحدث عملية الاحتراق.

ولّد مفهوم الفلوجستين بعض الارتباك. فلو أنه مُكوِّن من المواد القابلة للاشتعال، لتحتّم أن ينخفض وزن تلك المواد بعد اشتعالها. وينطبق ذلك على بعض المواد مثل الخشب.

ولكن ثمّة مواد أخرى يصبح وزنها بعد الاشتعال، أيّ عندما تتحوّل رماداً صلداً كلسي التركيب، أكبر مما كانه قبل الاشتعال. ودأب مؤيدو الفلوجستين في تجاهل هذا الأمر. وذهب آخرون إلى القول أن الفلوجستين عنصر وزنه سلبي، يعني أنه يخلف عند اشتعاله مادة يزيد وزنها على كتلته الأصلية.

وبنظرة استرجاعية، بعدما فُهم دور الأوكسجين في الاشتعال، يمكن النظر إلى مفهوم الفلوجستين باعتباره خطأً مريراً. ولا يعني ذلك أن علماء القرن الثامن عشر لم يكونوا مُبرزين، بل حققوا إنجازات كبيرة بوسائل متواضعة.

بنجامين فرانكلين عالماً: يحتفي الأميركيون ببنجامين فرانكلين باعتباره واحداً من الأباء المؤسسين للأمة الأميركية. كما يُعتبر أول عالِم مولود في أميركا. فقد وُلِدَ في بوسطن في العام ١٧٠٦، لعائلة انكليزية تعمل في صناعة الشموع، وترجع أصولها إلى «بانبيري»، وقد فرّت منها هرباً من الاضطهاد الديني. رزقت العائلة ١٧ ولداً، وحلّ بنجامين في المرتبة ١٥ بينهم. وحظي على سنتين من التعليم المدرسي فحسب. وعند بلوغه العاشرة، حاول الأب تعليم ابنه بنجامين مهنة صناعة الشموع، لكنه وجد الابن عازفاً عنها. فوجهه إلى تعلّم مهنة الطباعة. وقادت تلك الحرفة بنجامين إلى عالم الكُتُب، فانكبّ على تعليم نفسه بنفسه. في الثامنة عشرة، سافر من فيلادلفيا إلى لندن. وعمل في الطباعة. وألّف بعض الكتب، مما جعله على اتصال مع الأوساط الثقافية والأدبية. وفي سنّه العشرين، عاد إلى فيلادلفيا، ليعمل في مخزن لأحد أصدقائه. وعمل في تجارة الكتب. وفي العام ١٧٣٠، عندما بلغ الرابعة والعشرين سنة، تزوج مدنياً فتاة اسمها ديبورا. ودام زواجهما ٤٤ سنة.

طبيعة البرق: نمت لدى فرانكلين نزعة الاهتمام بالعلم، وقد لازمته طوال حياته. وفي غمار انشغاله بالكتابة والنشر والسياسة والديبلوماسية، لاحق تطور العلوم عبر احتكاكه بالعلماء، ومن خلال تجاربه الخاصة. وفي العام ١٧٤٣، أسس الجمعية الأميركية الأولى للعلوم، وسُمّيت «الجمعية الأميركية للفلسفة». ووجد وقتاً لإنجاز مجموعة من الابتكارات مثل سواري البرق، والعدسات المزدوجة البؤرة، ونوع خاص من المدافئ حمل اسمه. أظهر فرانكلين اهتماماً بارزاً بالكهرباء والمغناطيسية اللتين لم تكونا مفهومتين كثيراً في ذلك الوقت. وفي العام ١٧٤٥، توصّل عالم فيزياء دنماركي، بيتر فان

ماسشونبروك الذي عاش في مدينة «لايدن»، إلى أداة لتخزين الكهرباء، عُرفت باسم «جرّة لايدن»، التي يصدر عنها شرارة كهرباء إذا لُمِسَت.

فكّر فرانكلين في الشبه بين البرق والشرارة الكهربائية التي تُحدثها «حرّة لايدن»، فقرر أن يحاول تخزين البرق في دوارق مُشابهة. وفي العام ١٧٥٢، وضع سلكاً في طائرة ورقية، وربطه بخيط حرير إلى مفتاح. وأطلق تلك الطائرة صوب غيوم تحوي برقاً، محتفظاً بالمفتاح قريباً من يده. ومع انطلاق البرق، قفزت شرارات الكهرباء من المفتاح إلى يده. ولاحقاً نجح في شحن دورق كهرباء من البرق، تماماً كما تُشحن من مولّدات الكهرباء، فبرهن أن البرق من طبيعة الكهرباء نفسها. ودوّن تجاربه التي أذهلت مُعاصريه، بطريقة علمية، فضمن عضوية «الجمعية الملكية» في لندن. وحالفه الحظ لأن الشخصين الأولين اللذين جربا طريقته في شحن الكهرباء، صُعقا وقُتلا فوراً!

وفي سياق عمله المهني المديد، حقق عدّة اكتشافات، وقدّم مساهمات جُلّى في علم الكهرباء الذي كان في بدء انطلاقته. وفي العام ١٧٨٥، عندما بلغ التاسعة والسبعين، عاد من أوروبا إلى فيلادلفيا، حيث انتخب رئيساً لولاية بنسلفانيا. وتُوفي في العام ١٧٩٠، مُجلّلاً بالتكريم وبالدرجات العلمية الرفيعة من جامعات أوروبا وأميركا. واحتشد عشرون ألف شخص لوداعه إلى مثواه الأخير في فيلادلفيا. لم تضع سنتان في المدرسة سُدى!

أنطوان لافوازييه: مرّ قرن على نشر روبرت بويل كتاب «الكيماوي الشكّاك»، قبل أن يكتسب علم الكيمياء المفاهيم واللغة التي جعلته علماً حديثاً. وساهم عدد من العلماء في هذا التحوّل، أبرزهم الفرنسي أنطوان لافوازييه. وليس من المبالغة أن يُلقّب «نيوتن الكيمياء».

ولد لافوازييه في باريس في ٢٦ أغسطس / آب من العام ١٧٤٣. عمل والده مُحامياً. واستهل سني شبابه بدرس القانون، وقد نال إجازة لممارسته. وعقب استماعه إلى سلسلة محاضرات من الفلكي لاكاي، تولّد لديه اهتمام بالعلم. وأظهر ميلاً نحو الجيولوجيا،

فأنجز في مجالها دراسات قيّمة. وسرعان ما شدّت الكيمياء اهتمامه، فتحولّت شغفاً استولى على حياته. وفي العام ١٧٦٦، قبل أن يتجاوز الثالثة والعشرين من العمر، نال الميدالية الذهبية من «الأكاديمية الفرنسية للعلوم»، عن دراسة بحثية لأفضل وسيلة لإنارة مدينة كبيرة. وعلى غير عادة العلماء في عصره، مثل كافنديش، لم يكن لافوازييه عالماً معزولاً، فقد عاش حياته العامة بصخب، وهذا ما أدّى إلى انهياره لاحقاً.

ففي الخامسة والعشرين، وظّف أموالاً ضخمة في «فيرم جنرال»، شركة لجمع الضرائب أسّستها الحكومة الفرنسية. وبعد ٣ سنوات، تزوج ابنة أحد مُديري الشركة، قبل أن تتجاوز الرابعة عشرة من عمرها، في نموذج من الزواج المُدبّر، لكن السعادة ظللته سنوات طويلة. وتمتعت زوجته آن ـ ماري بالجمال والذكاء. وفي السنوات الأولى لزواجهما، لم يشعُرا بسعادة توازي لحظات عملهما معاً في المختبر.

وبمرور السنين، ومع تزايد انشغال الزوج بالمختبر والأعمال، وجدت آن ـ ماري سعادتها بين ذراعي أحد أصدقاء زوجها. ولم يحل ذلك دون استمرار حسن علاقتها مع العالِم الشهير.

سعى لافوازييه، عبر توظيف أمواله في «فيرم جنرال» للحصول على مصدر مالي ملائم لدعم أبحاثه العلمية. ونجح في ذلك. فقد تضخم دخل الشركة الذي جاء من فرض الضرائب على الفقراء، تضخّماً سريعاً مكّن لافوازييه من بناء مختبر راق وتجهيزه بأفضل المُعدّات. وسرعان ما غدا مختبره منتدى للقاء نخبة علماء فرنسا، كما زاره مُبرّزون مثل بنجامين فرانكلين وتوماس جيفرسون. وبهذه الطريقة، استطاع لافوازييه أن يواكب تطور العلوم في عصره. وكلما سمع بفكرة جديدة، أو بتجربة مثيرة للاهتمام، بادر إلى إجراء تجارب تأسيساً عليها، بمساعدة آن ـ ماري. وفي المقابل، لم يعترف بسهولة بفضل الآخرين عليه، ولا بمساهماتهم في اختراعاته، وهذا ما جرّه إلى نزاعات حادة مع أقرانه من العلماء، ممن لاحظوا أنه لم يقرّ لإسهاماتهم بالفضل الذي تستحقه.

جوزيف بريستلي: أحد الذين أثارهم السلوك الفروسي لأنطوان لافوازييه هو جوزيف بريستلي، الكيماوي الإنكليزي والسياسي الراديكالي. وُلد بريستلي في مدينة بريستول في العام ١٧٣٣ قبل ولادة لافوازييه بعشر سنوات، وعاش أجواء مختلفة. عمل أبوه قسّاً، ولم يستطع إكمال تعليمه الجامعي بسبب خلفيته الدينية. استطاع أن يعلّم نفسه بنفسه وأتقن عدّة لغات، منها العربية والعبرية. وفي العام ١٧٦٦، حين بلغ الثالثة والثلاثين قابل بنجامين فرانكلين الذي زار إنكلترا ممثلاً للمستعمرات الأميركية. ووضعه اللقاء على سكة الاهتمام بالعلم. وسرعان ما نشر كتباً عن تاريخ الأبحاث الكهربائية، وآخر عن تاريخ الضوئيات.

وفي العام الذي قابل فيه فرانكلين، عُيِّن بريستلي قسّاً في كنيسة بروتستانتية في ليدز. ولم يبعد مكان عمله عن مصنع للبيرة. وأظهر بريستلي ميلاً إلى أعمال التخمير. ولاحظ أن تخمير العجين يؤدي إلى تكوّن غاز سيُعرف لاحقاً باسم ثاني أوكسيد الكاربون. ودرس بريستلي ذلك الغاز، فتبيّن له أنه أثقل من الهواء، وأنه يستطيع إطفاء شمعة مشتعلة. وتمكّن من أن يذيب ذلك الغاز في الماء ذوباناً أعطاه طعماً لذيذاً. وهكذا اكتشف ماء الصودا، فكوفئ بميدالية من «الجمعية الملكية».

وبات بريستلي مشغوفاً بالغازات، فحاول اكتشاف المزيد منها. وعند ابتداء أبحاثه، عرف العلماء ثلاثة غازات: الهواء وثاني أوكسيد الكاربون والهيدروجين. لقد اكتشف كافنديش الهيدروجين، ولكن لافوازييه أعطاه ذلك الاسم. ونجح بريستلي في عزل المزيد من الغازات، وضمنها الأمونيا، وأوكسيد النتريك، وكلوريد الهيدروجين.

وفي العام ١٧٧٢، ونتيجة اكتشافاته، اختير عضواً في «الأكاديمية الفرنسية للعلوم». كما عُيِّن مديراً لمكتبة الأريستقراطي الإنكليزي لورد شيلبورن. وبعد سنتين، توصّل إلى اكتشافه الأهم، واستعمل العدسة ليسخّن أوكسيد الزئبق في أنبوب. وتراكم الزئبق المعدني في قعر الأنبوب الذي انبعث منه غاز ذو مزايا خاصة. فعند تقريب شمعة مشتعلة منه، تزداد توهّجاً. وعندما يشتمّه الفأر، يصبح أكثر انتعاشاً.

ولسوء الحظ، سيطر مفهوم عنصر الفلوجستين على تفكير بريستلي، ولذا لم يتمكن من فهم دلالة اكتشافه. وبالنسبة إلى من آمنوا بوجود الفلوجستين، باعتبار العنصر الأساسي للاشتعال، فقد لاحظوا أن اللهيب المحتبس في وعاء يذوي وينطفئ. لكنهم فسروا ذلك بأن الفلوجستين المتصاعد من اللهب يشبع الهواء في الوعاء بحيث لا يستطيع تقبّل المزيد، فتنطفئ الشعلة. وإذ سار بريستلي على ذلك الضرب من التفكير، استنتج أن الغاز الذي استخلصه من أوكسيد الزئبق ليس سوى هواء استنفذ ما يحتوي من الفلوجستين، وبات «متعطشاً» للفلوجستين في لهيب الشمعة. وأطلق على ذلك الغاز اسم «الهواء الخالي من الفلوجستين».

وفي أكتوبر / تشرين الأول من العام ١٧٧٤، تناول بريستلي طعام الغداء مع لافوازييه في باريس، وأسرّ له باكتشافه. والتقط لافوازييه الخيط، وواصل تجاربه الخاصة على ذلك الغاز، مع استمراره في مراسلة بريستلي. وكتب لافوازييه ورقة بحث إلى الأكاديمية الفرنسية تصرّ على القول إن «الهواء الصافي» يشكّل الغاز الأساسي للاحتراق، من دون ذكر لتجربة بريستلي. وأثار هذا التجاهل المتعمّد حنق بريستلي.

وسبق للافوازييه أن برهن أن الفوسفور يزداد وزنه حين يحترق، بدلاً من أن يخسره. وكذلك استطاع أن يُحقق مجموعة من الاختراقات العلمية، خلال السنوات التالية، نتيجة إصراره على الدقّة في القياس. وفي العام ١٧٧٩، جهر باقتناعه أن الغاز الذي لاحظه بريستلي لم يكن «هواءً صافياً»، بل عنصراً مستقلاً بذاته. وسمّاه أوكسجين. وبمساعدة من صديقه الأكاديمي بيار لابلاس، أجرى مجموعة من التجارب على حيوانات حيّة، فتبيّن أن التنفس يتضمن نوعاً من الاحتراق، إذ تأخذ الكائنات الحيّة الأوكسجين من الهواء لكي تحرق «الوقود» الذي يحويه الطعام. وفي العام ١٧٨٦، نشر في المجلة الصادرة عن الأكاديمية الفرنسية، مقالاً يحرض فيه على ضرورة الاستغناء عن استعمال مصطلح الفلوجستين الذي ضلّل العلماء زمناً طويلاً.

وتبرز نقطتان في ذلك المقال:

١ ـ يحدث الاحتراق الحقيقي بمقدار وجود الأوكسجين... لا يحدث الاحتراق عند توافر أنواع أخرى من الهواء، ولا في الفراغ الذي يُطفئ الأجسام المشتعلة، وكأنها غمرت في الماء.

٢ ـ يرافق الاحتراق زيادة في وزن الجسم المحترق، وتُعادل الزيادة كمية الهواء التي استخدمت في الاحتراق.

وحتى عالم كبير من طراز لافوازييه، قد يقع ضحيّة لنظام الأفكار السائدة. ولذا، حملت بعض أوراقه المتأخرة أثراً من التفكير القديم الذي عايشه. فمثلاً، تضمّنت نظريته عن الأحماض، وكذلك عن السخونة، الكثير مما وجب تصحيحه لاحقاً.

لكن العلماء الذين جاؤوا بعده، وجدوا علم كيمياء وقد تغيّر كلياً بفضل أعمال لافوازييه.

إسهام لافوازييه: لم تكن أعمال لافوازييه، رغم أهميتها، سوى جزء من مساهمته في إدخال الكيمياء إلى المنظومة العلمية. ومن المهم تذكّر الدرس الذي علّمه كثيراً: الاستنتاج الصحيح لا ينجم إلا من إتباع تجارب مُخطّطة بدقة، واستعمال قياسات دقيقة. ففي مختبره، كان ميزان الكيمياء حكماً للحقيقة. وكذلك أعطى الكيمياء مجموعة من المفاهيم التي أثبتت نجاعتها العملية، خلال القرن التالي. ورسم خطاً فاصلاً أكثر مما فعل بويل، بين العنصر الكيمياوي المستقبل والمُركبات الكيمياوية. وبذا، سهّل للكيميائيين الشروع في إعطاء العمليات الكيماوية أرقاماً.

ونتيجة تلك المفاهيم، وكذلك لطرقه الدقيقة في التحليل، بات القرن التاسع عشر عصراً ذهبياً للكيمياء. ولم يعش لافوازييه ليرى ذلك القرن. فعند اندلاع الثورة الفرنسية في العام ١٧٨٩، استهدف عهد الإرهاب الذي تلاها مُحصلي الضرائب الثقيلة. وزاد في سوء حظ لافوازييه عداؤه المستمر مع عالم لامع، جان ـ بيار مارا الذي انحاز إلى عصر الإرهاب. وانتقم مارا بقسوة من غريمه، الذي طالما عامله بازدراء. وفي صباح يوم ٨ مايو /

أيار من العام ١٧٩٤، حوكم فوجد مُذنباً. وبُعث إلى المقصلة وله من العمر ثلاثة وخمسون عاماً. وبغرابة، طلب لافوازييه من المحكمة تأجيل تنفيذ الحكم بضعة أسابيع، ليتمكن من إتمام بعض أعماله العلمية. وأجابه القاضي:«الثورة ليست بحاجة إلى العلماء». وبعد بضع ساعات، طار رأسه على المقصلة في ساحة الكونكورد. وعلّق أحد مُعاصريه، جوزيف ـ لويس لاغرانج على مصرعه بالقول:«لم تلزم سوى ثانية لقطع رأس ربما لا تنجب مثله فرنسا في قرن».

قياس خطوط الطول: حتى منتصف القرن الثامن عشر، نُظر إلى الإبحار على أنه مخاطرة. لم توجد خرائط بحرية، وإن وُجد بعضها فلا يملك صدقية كافية. كما أن تحديد المواقع الفعلية بالنسبة إلى الخرائط، يصبح أكثر صعوبة كلما أوغل المرء في الإبحار إلى الأعمق.

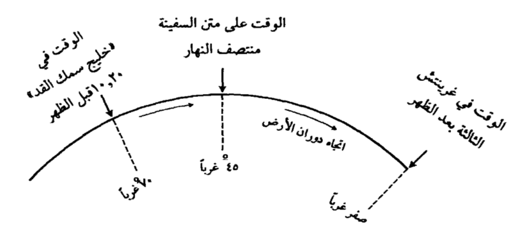
ونظرياً، يمكن تحديد الموقع في البحر عبر رسم الإحداثيات: خطوط تعبر النقاط المرئية. بدا أحد تلك الخطوط سهلاً على الورق. إنه خط العرض الذي يشير إلى موقع السفينة بالنسبة إلى خط الاستواء، شمالاً وجنوباً. ويسهل تعيينه في الأيام الشامسة باستعمال آلة السُدس لقياس الزاوية بين الشمس والأفق في منتصف النهار، ثم تعديلها بموجب جداول تُظهر مسافة تلك الزاوية من خط الاستواء.

ولسوء الحظ، فإن خط العرض، بذاته، لا يفيد كثيراً، إذ يشير إلى أن السفينة التي تبحر على خط عرض ٤٢ درجة شمال خط الاستواء، تقع في مكان ما بين مرفأ «فنيستير» وخليج «سمك القدّ». ولكي تعرف موقعها، يجب على السفن أن تحصل على خطوط العرض والطول معاً. وتُمثّل خطوط الطول التي تُقاس بالدرجات، المسافة إلى غرب نقطة مرجعية ـ أو شرقها ـ على سطح الكرة الأرضية. ومن دون طرُق العلم في تعيين خطوط الطول، يعتمد الإبحار على خبرة البحارّة الشخصية، ويصبح ضرباً من الحدس والتخمين.

وكلما توغّلوا في البحار، بات التخمين أصعب، ومن ثم مدعاة للتيه. جذبت مسألة خطوط العرض والطول بعضاً من ألمع الأدمغة في أوروبا. وتعامل معها غاليليو وهيغنز ونيوتن، ولم يحظوا بجواب شاف. وفي العام ١٧١٤، وضعت الحكومة البريطانية جائزة قدرها عشرون ألف جنيه استرليني (ما يُساوي مليوناً بالقيمة الراهنة للجنيه) لمن يتوصل لحل تلك المعضلة. وشارك في تلك المنافسة فلكي في البلاط، اسمه نيفل ماسكيلاين الذي حدس بأن الحلّ رهن باعتماد طريقة «المسافة القمرية». ولم تُحلّ المُشكلة إلا على يد عالم الرياضيات، وصانع الساعات، جون هاريسون.

الوقت مسافة: تمكن صانع الساعات من جعل البحر آمناً بالنسبة إلى المبحرين فيه، بسبب العلاقة بين الوقت والمسافة. فقد تنبّه إلى أن كل خط من خطوط العرض يمثّل دائرة كاملة من ٣٦٠ درجة، وكذلك هو مدار الشمس في السماء خلال النهار. وبكلام آخر، فإن الشمس تعبر دائرة كاملة في السماء خلال ٢٤ ساعة، أي ما يساوي ١٥ درجة كل ساعة.

وتكون الشمس فوق الرؤوس مباشرة، في منتصف النهار، بالتوقيت المحلي. وبعد مرور ساعة، تصبح الشمس فوق الرؤوس مباشرة في مكان آخر يبعد ١٥ درجة إلى الغرب من الموقع الأول، وهكذا. ولم يكن صعباً معرفة موقع الشمس عندما تكون في ذروة ارتفاعها، أي الظهيرة بالتوقيت المحلي.



الشكل ١١: العلاقة بين الوقت وخطوط الطول.
عندما يكون الوقت ٣ ما بعد الظهر في غرينتش، ويكون ظهراً على متن السفينة، يعني ذلك أن السفينة على مسافة ٣×١٥= ٤٥ درجة غرب غرينتش.

ولم يبق سوى صعوبة معرفة الوقت في نقطة مرجعية مُحددة، اتُّفق أن تكون «المرصد الملكي» في غرينيتش، بالنسبة إلى السفينة المُبحرة.

ولتحديد ذلك، يُفترض أن تحمل السُفُن ساعات تشير دائماً إلى توقيت غرينيتش، ويجب ألا تُخل تلك الساعات بالتوقيت على مدار أشهر السنة، ومهما ساء حال البحر. وتصدى هاريسون لمجابهة هذا التحدي. وفي العام ١٧٥٩، بعد نصف قرن من العمل المضني بالساعات، صنع الآلة المطلوبة، وسُميّت «كرونومتر». وبفضلها، اصبح ممكناً لقباطنة السُفن أن يحددوا موقعهم بدقة، بواسطة جداول دقيقة.

وأوغر صدر ماسكيلاين، فسعى ألا ينال هاريسون الجائزة. واقتضى الأمر رفع شكوى إلى الملك لكي ينال هاريسون مكافأته عما أداه لبلده وللعالم.

وزن الأرض ــ الفصل الأول: لم تؤد مؤامرة ماسكيلاين إلا لتشويه سمعته تاريخياً. ولا يعني ذلك أنه لم يكن فلكياً مجتهداً. فبعد قرن من نشر برينكيبيا نيوتن، ظلت إحدى التجارب التي اقترحها ذلك الكتاب من دون تنفيذ. ولكي يبرهن نيوتن على وجود الجاذبية اقترح الأرضية، لكنه لم يُعيّن مقدارها. وارتكزت حسابات الجاذبية على مقدار الجذب النسبي المتبادل الذي تمارسه الأجسام بعضها على بعض، بحسب تفاوت كتلتها. وظلّت القيمة المُطلقة للجاذبية على الأرض، أي ثابت الجاذبية، غير معروفة.

اقترح نيوتن أن خط الشاقول، عندما يُعلّق بجانب جبل، يُحدث الجبل شداً قليلاً له يحرفه عن الاتجاه العمودي، ولربما وصل الشدّ إلى قدر يمكن قياسه. وإنْ تحقق ذلك، قاد حساب قدر الانحراف عن العمودي إلى التمكّن من حساب وزن النسبة بين وزنَي الأرض والجبل. وإذا خُمّن وزن الجبل، بطريقة معقولة، تُصبح معرفة وزن الأرض مُتاحة، وبالتالي يمكن حساب ثابت الجاذبية الأرضية. ولأن حجم الأرض كان معروفاً، فإن تلك الحسابات قد توصل إلى احتساب كثافة الأرض أيضاً.

بذا، باتت المُشكلة إيجاد جبل مُناسب. ولتقدير كتلته، يجب أن تُخمّن كثافته، إضافة إلى تقدير حجمه، ضمن هامش ضيّق من الخطأ. إذاً، يُفضّل أن يتّخذ الجبل شكلاً منتظماً

لإجراء حسابات حجمه بدقة معقولة. وبتأثير ماسكيلاين، أطلقت «الجمعية الملكية» حملة للبحث عن الجبل المناسب. وبدت المهمة سهلة نسبياً في عينَي صديق لماسكيلاين، اسمه تشارلز مايسون، يعمل مسّاحاً. وسرعان ما عثر على جبل اسمه «شيهاليون» في الهضاب الاسكتلندية. وأشرف ماسكيلاين بنفسه على أعمال المسح، فأمضى ٤ أشهر من العام ١٧٧٤، مُعسكراً في سفح ذلك الجبل. وأُنيطت الحسابات بعالم رياضيات شاب، تشارلز هوتون، الذي أنجز الرقم الأول تاريخياً عن وزن الأرض: ٥ ضرب عشرة مرفوعة إلى قوة ٢١ طناً (٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ طناً).

شكّل حساب وزن الأرض حدثاً علمياً مثيراً. وتضمّن أبعاداً مهمة كثيرة. ولأن نظرية نيوتن حددت الأوزان النسبية للأرض والشمس والقمر والكواكب السيّارة في النظام الشمسي، بات من الممكن معرفة الوزن الفعلي لتلك الأجرام.

وبعد حوالى ١٦٥ سنة من عمل غاليليو بالتيليسكوب، توصل الإنسان إلى حساب وزن النظام الشمسي بأسره. لقد أدخل هذا الرقم علم الفلك مرحلة النضج.

وزن الأرض ــ الفصل الثاني: سُرّ ماسكيلاين بنتيجة اشتغاله بوزن الأرض، لكن ثمة من لم يرقه الأمر. فقد بدت تلك الحسابات وكأنها استندت إلى تخمين أولي عن وزن الجبل. دلّ الشكل المُتّسق للجبل، والقياسات الدقيقة لحجمه، إلى أرقام تحتمل الركون إليها. لكن التوصل إلى رقم أساسي، أي وزن الجبل الذي استُخدم في سلسلة من عمليات حسابية مُعقّدة لاحقاً، حتّم تقويم كثافته أيضاً. وقد استند تقدير تلك الكثافة إلى مجموعة من التخمينات التي إن لم تصح تماماً، فإن الرقم يختلّ بشدّة.

بدا رقم هوتون عن أرض بوزن خمسة الآف مليون مليون مليون طن، نافعاً. وسرعان ما سعى الناس إلى رقم أدقّ. وفي العام ١٧٩٨، حصل إنكليزي آخر على قياس دقيق لما بحث عنه الكثيرون، ومن دون أن يغادر منزله.

وُلد هنري كافنديش في العام ١٧٣١، في مدينة نيس الفرنسية، حيث عاشت أُمّه

لأسباب صحية. وماتت عندما بلغ السنتين. درس في إنكلترا وقضى أربع سنوات في جامعة كامبريدج، لكنه لم ينل شهادة منها، لأنه عانى خجلاً منعه من مواجهة ممتحنيه. ولأنه الحفيد الأول لدوقتين، ورث من إحدى عمّاته ثروة جعلته أثرى رجال عصره. ولكنه مال إلى العزلة، ونأى بنفسه عن الناس. عاش وحيداً، وتجنّب الزوار، حتى إنه دأب في طلب وجباته بكتابتها على ورقة لُمدبّرة منزله.

وذات مرّة، علّق مدير من المصرف على ثروته التي بلغت ما يُساوي خمسة ملايين جنيه استرليني بأسعار العملة الراهنة، فلفتَ نظر كافنديش إلى أنه يستطيع نقلها إلى حيث يستطيع التمتع بسعر الفائدة عليها. وردّ كافنديش بالقول إنه سيسترجع أمواله إذا عاود المدير إزعاجه بملاحظة كهذه.

ورث كافنديش حباً جمّاً للعلم من والده، وكرسّ له أكثر من ستين سنة. ولم يأبه للشهرة. ولم ينشر سوى القليل. وبقي الكثير من اكتشافاته مجهولاً إلى ما بعد وفاته. وخُلّد اسمه بإطلاقه على مختبر متخصص في جامعة كامبريدج، إضافة إلى «تجربة كافنديش» التي ابتكرها. ويرجع الفضل في ذلك التكريم إلى صديقه جون ميتشل، الكاهن المهتم بالجيولوجيا. ووضع ميتشل تصميماً لآلة ابتكرها خصوصاً لتُستخدم في تجربة علمية، لكنه توفي قبل إنجاز تلك التجربة.

حاز كافنديش تلك الأداة، وأعاد نصبها في أحد منازله في لندن. لقد بدت تلك الأداة بسيطة. وتكوّنت من كرتين من الحديد، يبلغ قطر إحداهما ٣٠ سنتيمتراً، مُعلقتين إلى جسر حديد. ووُضعتا على تماس مُرهف مع كرتين أصغر منهما، يصل قطر إحداهما إلى خمسة سنتيمترات، وتتصلان بسلك نحاس رفيع. وهكذا، تتعرض الكرات الصغيرة لشد الجاذبية إلى الأسفل، من ناحية، فيما تمارس عليها الكرات الكبيرة جذباً نتيجة الفرق بين كتلتيهما، انطلاقاً من قانون نيوتن الأول الذي يقول إن الأجسام تتجاذب بقوة تناسب كتلتها. ومن ثم صُممت الأداة لقياس مقدار الليّ الذي يتعرض له السلك الذي يربط الكرات الصغيرة بفعل تأثير التعارض بين قوتي الجاذبية الآتيتين من الأرض والكرات الكبيرة.

وللحفاظ على دقة الأداة، صُمّمت التجربة بحيث يُزال تأثير القوى الخارجية، عدا الجاذبية. فقد وُضعت الأداة في غرفة معزولة. ورُسم مقياس فائق الدقة (بتدرّج ١٠٠/١ من البوصة) على السلك الرفيع الذي أُنير بضوء خافت سُلّط عليه مباشرة.

وراقب كافنديش حركة السلك من خارج الغرفة، بل من خارج المنزل كله، عبر تيليسكوب. من الواضح أن التجربة تصدّت لقياس قوى هيّنة الأثر، وتطلبت قياساً ومراقبة دقيقين جداً. ونهض كافنديش بهذا الأمر. وأظهرت تجربته أن كثافة الأرض تفوق كثافة الماء بمقدار ٥,٤٨ أضعاف. وفاق رقم كثافة الأرض عند كافنديش ذاك الذي استُخدم في تجربة جبل شيهاليون بمقدار عشرين في المئة. ووصلت دقته إلى واحد في المئة من الرقم الذي تُسجله أدق الآلات العلمية راهناً.

وبعد وفاته، اكتشف أنه ارتكب خطأ في حساباته، لولاه لزادت نسبة الخطأ ليصبح الفرق بين رقم كافنديش والرقم الراهن إلى ١,٥ في المئة. وللحصول على فكرة عن دقة التجربة، تجدر الإشارة إلى أن مقدار الجذب الذي تُمارسه الكرات بعضها على بعض، والتي قاستها التجربة، تصل إلى ٥٠٠٠٠٠٠٠/١ من الجاذبية التي تشد بها الأرض تلك الكُرات. وذاع صيت هذه التجربة، وعُرفت تاريخياً باسم «تجربة كافنديش»

تنظيرات ميتشل: حاز جون ميتشل الذي صمّم الأداة التي استعُملت في «تجربة كافنديش»، عدّة مهارات. فقبل أن يُعيّن قسّاً في كنيسة ثورنهيل في يوركشاير، درّس الجيولوجيا في جامعة كامبريدج. وبعد تعيينه في يوركشاير، حافظ على اهتمامه بالعلم. وامتدت تنظيراته إلى أبعد من علوم الأرض التي تخصص بها. وعرض أبرز تنظيراته في ورقة قرأها، بالنيابة عنه، صديقه كافنديش أمام «الجمعية الملكية» في العام ١٧٨٣. وفي تلك الورقة، راح ميتشل يناقش النتائج المترتبة على محدودية سرعة الضوء، في سياق نظرية نيوتن عن الجاذبية.

ولاحظ أن لكل جرم سماوي سرعة هروب، وهي السرعة التي تسمح للأجسام بالإفلات من تأثير جاذبية ذلك الجرم. وتتفاوت تلك السرعة بحسب المسافة التي تفصل

الجسم المنطلق من مركز جاذبية الجرم، وكذلك بحسب كتلته أيضاً. فماذا عن الضوء؟ ألا يكون مُعرّضاً كذلك لأثر سرعة الهروب؟ إذاً، ثمة احتمال بوجود جرم ذي كتلة هائلة تشد الضوء إليها، فلا يُغادرها، أي أن سرعة الضوء تكون أقل من سرعة الهروب. ولم يكتفِ ميتشل بالتنظير عن احتمال وجود جرم كهذا، بل حاول قياس كتلته أيضاً.

وافترض أن جرماً يملك ما للشمس من كثافة، بإمكانه أن يُمسك الضوء إذا فاق حجمه الشمس ٥٠٠ ضعف. وبقول آخر، فإن جُرماً هائلاً كهذا يكون مُعتماً كلياً، لأن الضوء لا يصدر منه لكي تراه العيون! وتتطابق تلك التنظيرات مع ما يقول به العلم راهناً عن «الثقب الأسود».

ومضت تلك الورقة عينها لتُنظّر عن الطريقة التي تتيح معرفة وجود مثل ذلك الجرم الهائل والمُعتم في آن واحد. وسعت للعثور على الجواب بالاستناد إلى نظرية نيوتن.

إذا كان للجرم المُعتم تابع يدور حوله (كما يدور القمر حول الأرض مثلاً)، يمكن الاستدلال من حركة التابع على وجود الجرم المُعتم. ومن المُستطاع أيضاً احتساب كتلة ذلك الجرم. ومن المُذهل أن ما اقترحه ذلك القس الإنكليزي مُطبّق راهناً، بعد أكثر من ٢٠٠ سنة، في التعامل مع الثقوب السود.

وفي العام ١٧٥٥، تعرضت مدينة لشبونة البُرتغالية لزلزال محاها عن الوجود. واقترح ميتشل أن ذلك الزلزال انبثق من قعر البحر. كما رأى أن مركز مثل تلك الزلازل يمكن تقديره من طريق رصد اهتزازات الأرض في أماكن مختلفة. وتحوّلت تلك الفكرة إلى ممارسة ثابتة في القرن العشرين، مما ضمن لميتشل لقب «أبو علم الزلازل».

كم تبعُد النُجوم؟: في العام ١٧٨٤، عبّر جون ميتشل عن أرائه في صدد قياس بُعد النجوم من الأرض، ونظّر بأنها تبعد بسنوات ضوئية. وبعد ٥٤ سنة، جاء الفلكي الألماني فريدريك ويلهام بيسيل ليثبت صحة نظريات ميتشل، إذ تمكن من إنجاز قياس أول تاريخياً للمسافة بين الأرض وأحد النجوم.

لينايوس ونظامه: تأتي بعض الاكتشافات العلمية نتيجة لإعادة صوغ الحقائق، وصبّها في إطار أفضل. ومهّدت إعادة الصيغة التي أجراها الطبيب السويدي كارل فون لينيه، لتقدّم علم البيولوجيا خلال القرنين التاليين. واشتهر هذا الطبيب باسمه اللاتيني لينايوس. وُلِدَ في مدينة «راشولت» جنوب السويد، في العام ١٧٠٧. وشارك أباه، الذي عمل قسّاً للبلدة، في حب النباتات. ودرس الطب في جامعة «أوبسالا». وسرعان ما تحوّل للاهتمام بعلم النبات الذي درّسَهُ في «أوبسالا». وفي العام ١٧٣٢، قاد حملة جامعية لدرس النباتات التي تعجّ بها منطقة «لابلاند». وفي العام ١٧٣٥، بعد عدّة أسفار إلى إنكلترا وأوروبا الغربية، نشر كتاباً ضمن له شهرة باقية. وسمّاه «نظام الطبيعة». واقترح فيه طريقة لتصنيف أنواع النباتات والحيوانات بطريقة مختلفة عن السائد. فمنذ أيام أرسطو، اعتمد تصنيف للأشكال الحيّة يرتكز على المظاهر الخارجية، مثل لون الزهرة، أو بعض سلوكها مثل القدرة على السباحة. وهجر لينايوس هذه الطرائق كلها. وأسس تصنيفه على الخصائص المُشتركة الأساسية. فمثلاً، جمع الحيتان والفئران معاً في فئة الحيوانات اللبونة. وصنّف النباتات المُزهرة على حدّة، ليميزها من تلك التي لا تُعطي أزهاراً. وتميّز نظامه بمفهوم «التصنيف الهرمي»، حيث تنقسم الفئات الكبرى إلى مجموعات أصغر. فمثلاً، تُقَسّم فصيلة الحيوانات الفقارية إلى اللبونات والعصافير والزواحف وغيرها. ثم تتوزّع الحيوانات اللبونة إلى آكلات اللحوم، وملتهمات العشب، والمقتاتة بالحشرات، وسواها.

واتخّذ نظام لينايوس وجهة عالمية، مرتكزاً بشكل أساسي على النباتات التي قادته إلى الانشغال بمسألة تكاثر الكائنات الحيّة. وخصّص صفحات كثيرة لوصف أعضاء التكاثر في النبات وطرق تلاقحها بالتفصيل. وساهم هذا الانشغال في تشديد الطابع العلمي لدراساته، مما أدخل علم النبات في صورة العلم الحديث، كما غيّر من وجه دراسة علوم البيولوجيا كلها.

وإضافة إلى التقسيم الهرمي، تبنّى لينايوس نظام التسمية المزدوجة، بحيث يحمل كل نوع اسمه اللاتيني، مضافاً إليه اسم المجموعة التي ينتمي إليها. وهكذا حملت الأسود

اسم «فليس ليو»، في حين سُمّيت القطاط البريّة «فليس سيلفيسترس»، باعتبارهما ينضويان تحت مجموعة القططة (فليس). ولا يزال هذا النظام أساساً للتسميات الراهنة في البيولوجيا.

ظهرت النسخة الأولى من «نظام الطبيعة» في كتيب من سبع صفحات. وعند ظهور النسخة العاشرة، تحوّل الكتيّب، نتيجة شغف لينايوس بالتصنيف وبالتسميات، إلى كتاب من ٢٥٠٠ صفحة. ولا يزال نظامه في التصنيف والتسمية مُعتمداً راهناً، لكن العلم تقدّم كثيراً في معرفة الصفات الأساسية التي يعتمد تصنيف الأنواع عليها، مما ولّد الكثير من التغيّرات في النظرة إلى أنواع الكائنات الحيّة. ولذا، دأب علماء البيولوجيا على إعادة تصنيف الفصائل والأنواع، اعتماداً على تعمّقهم في معرفة الخصائص العميقة للعائلات البيولوجية. وقاد الاستمرار في إعادة التصنيف إلى مفارقة ساخرة بالنسبة لكتاب لينايوس. فالحال أن مفهوم «العائلة» لم يكن من ابتكاره، وكذلك لم يؤمن بالتطور. ومع تقدّمه في السنّ، بات أقل تشدداً في النظرة إلى ما يفصل الأنواع الحيّة بعضها من البعض. لكنه لم يتهاون في صدد الاعتقاد بأن كل صنف من الحيوان والنبات يمثّل خلقاً أصيلاً من إبداع الخالق. وأدّى ميله إلى الشكل الهرمي في التصنيف إلى رسم نوع من شجرة عائلة للأنواع، وهذا ما أوحى فكرة الأصل المشترك. وعندما توفي في العام ١٧٧٨، بعد تكريسه أربعين سنة للتصنيف والتسمية، ساهمت أعماله في التمهيد لظهور نظرية النشوء والارتقاء على يد تشارلز داروين.

تصنيف الأنواع: أقرّ نظام لينايوس بأربعة تقسيمات: الفصيلة والصنف والجنس والنوع. ولأنه آمن بأن الأنواع مستقرة، بنى نظامه للمساعدة على التعرّف على الأنواع، وليس لتتبع أصولها. لذا، لم يستعمل التقسيمات العليا، مثل الشعبة والمملكة.

وباستخدام المصطلحات المعاصرة، يمكن وصف لينايوس نفسه، كإنسان، على النحو الآتي:

المملكة: الحيوان.

الشعبة: الكائنات ذات الجهاز العصبي.

شعيبة: الفقاريات.

فصيلة: الحيوانات اللبونة.

صنف: الحيوانات الرئيسة.

عائلة: إنسان (هومينيدا).

جنس: إنساني (هومو).

النوع: الإنسان العاقل (هومو سابيانس)

ويُخبر ذلك أنه حيوان يمتلك حبلاً شوكياً وعموداً فقرياً، وأنه لبون، وأنه يتشارك والقردة في صفات، ويتشارك وعائلات منقرضة مثل هومو أركتوس في صفات، وأنه عضو في النوع نفسه مع كل إنسان شهدته الأرض في المئة ألف سنة الماضية.

التنوّع المُذهل للحياة: ابتكر لينايوس نظاماً تحتم عليه التأقلم مع تنوّع يفوق خياله. ومنذ وفاته، اكتشف علماء البيولوجيا أكثر من مليون نوع، ما يوحي بإمكان التوصل إلى اكتشاف أنواع كثيرة أخرى. ويجب التفكير أيضاً في الأنواع التي انقرضت عبر التاريخ، والتي يُفترض إضافتها إلى القائمة عينها. وقد سُئل عالِم البيولوجيا البريطاني ج. هالدن عما تعلمه من دراسة الطبيعة، فأجاب بأنها كثيرة الشغف بالخنافس! والجدير بالذكر أن أنواع الخنافس تصل إلى ٣٣ ألفاً من أصل ٧٥٠ ألف نوع من الحشرات.

وتضم قائمة الأنواع الحيّة راهناً، بحسب «مؤسسة مصادر العالم» ما يلي:

	عدد الأنواع*
الفقاريات	
اللبونات	٤٠٠٠
الطيور	٩٠٠٠

الزواحف	٦٠٠٠
البرمائيات	٤٠٠٠
الأسماك	١٩٠٠٠

اللافقاريات	
ذوات المفاصل	٨٧٠٠٠٠
قنفذيات البحر	٦٠٠٠
الصدفيات	٥٠٠٠٠
الحلقيات	١٢٠٠٠
العريضات	١٢٠٠٠
الخيطيّات	١٢٠٠٠
اللاحشويات	٩٠٠٠
الإسفنجيات	٥٠٠٠
النباتات	٢٥٠٠٠٠
الفطريات	٧٠٠٠
الطحالب	٨٠٠٠
البكتيريا	٥٠٠٠
البدائيات	عدد غير مُحدّد

* العدد تقريبي، إذ يُكتشف سنوياً نحو ٣٠ ألف نوع.

الجنس الإنساني: رغم انتماء لينايوس، بحسب نظامه في التصنيف، إلى الجنس الإنساني الذي يتميّز عن الأنواع الأخرى من الرئيسيات، فإن لينايوس ما كان ليميل إلى قول كهذا. ففي مقدمة كتابه «حيوانات السويد» الذي نُشر في العام ١٧٤٦، أورد أنه «لم يعثر على أي ميزة تفصل بين الإنسان والقرد». ولم يستمر في هذا الضرب من التفكير. وفضّل إعطاء معتقداته الدينية الأولوية، على غرار الكثير من علماء القرنين الثامن عشر والتاسع عشر. وفي النسخة الأخيرة من كتابه، وضع الإنسان العاقل في جنس خاص به.

التقويم الغريغوري: في العام ٤٦ ق.م.، أثار الإمبراطور القاسي يوليوس قيصر الذي تزوّج رومانية نبيلة المحتد، اضطراباً في طبقة النبلاء في روما، بسبب الحفاوة الهائلة التي أحاط بها زيارة كليوباترا، ملكة مصر. فقد خصّص لها فيلا طوال إقامتها التي دامت حتى مصرعه بعد سنتين. ويُرجح أن ذلك اضطلع بدَور في تأجيج التآمر عليه. وتركت زيارة تلك المحظية الملكية أثراً أبعد غوراً، لأنها تسببت في اعتماده التقويم الذي اقترحه فلكي مصري رافق كليوباترا، اسمه سوسيجينس الذي رافقه في رحلته من مصر إلى روما.

واستمر التقويم اليوليوسي الذي أدخله ذلك القيصر فحمل اسمه، سارياً بعد وفاته في معظم أرجاء أوروبا، مدّة زادت على ١٦٠٠ سنة، ولم يكن شديد الدقّة. ومع القرن الثامن، تصاعدت الاحتجاجات عليه لأسباب كثيرة، وخصوصاً لأنه لا يشير إلى عيد الفصح المسيحي بموعد ثابت. وخلال القرون الثمانية التالية، أثار التقويم وتصحيحه جدالاً حامياً في الأوساط المسيحية.

وكمنت المشكلة في أن التقويم اليوليوسي افترض أن طول السنة الشمسية ٣٦٥,٢٥ يوماً، في حين أن الرقم الفعلي يساوي ٣٦٥,٢٤٢ يوماً. ومع نهاية القرن السادس عشر، بدا التقويم المسيحي فائق الاضطراب، بسبب تراكم خطأ في الحساب لأسباب لا مجال لشرحها، مقداره ١٠ أيام. وفي العام ١٥٨٢، أقنع البابا غريغوري الثالث عشر عدداً من الدول الأوروبية بالموافقة على ما بات يُعرف، منذ ذلك الحين، بالتقويم الغريغوري.

وأسقط التقويم الجديد الأيام العشرة المثيرة للاضطراب، من أجل ضبط التقاويم. وارتكز التقويم اليوليوسي على إدخال يوم إضافي كل أربع سنوات، لأنه احتسب السنة ٣٦٥,٢٥ يوماً. وأدخل التقويم الغريغوري تعديلاً بسيطاً على تلك الممارسة، إذ وجب إضافة يوم كل أربع سنوات، ولكن ليس عندما تكون السنة قابلة للقسمة على مئة، إلا إذا كانت قابلة أيضاً للقسمة على ٤٠٠. وتبنّت معظم الدول الأوروبية النظام الغريغوري بسرعة.

وأثار كاهن إنكليزي لم يُعجبه إتباع المبادرة البابوية، نقاشاً على الطريقة الإنكليزية العريقة، استمر ١٧٠ سنة. وعندما تبنّت إنكلترا (وكذلك اسكتلندا وإيرلندا) التقويم الغريغوري، احتاج الأمر إلى إسقاط ١١ يوماً. وهكذا حلّ يوم الأربعاء الثاني من سبتمبر / أيلول ١٧٥٢، مباشرة قبل يوم الخميس ١٤ سبتمبر / أيلول. ولم يرض الجميع بهذا الحل. وسارت تظاهرات تُنادي باسترداد الأيام المقتطعة رافعة شعار:«ردوا أيامنا الأحد عشر». ولم يجد ذلك نفعاً. وأدى توسّع الإمبراطورية الإنكليزية إلى انتشار التقويم الغريغوري في العالم. ولم تقبل به الإمبراطورية الروسية، إلا عقب ثورة ١٩١٧.

تغيير التقويم: تبنّت دول كثيرة التقويم الغريغوري بعيد ظهوره مباشرة، لكن عدداً منها استغرق وقتاً لِيُغيّر التقويم، كما يظهر الجدول الآتي:

البلد	تاريخ اعتماد التقويم الغريغوري	
إيطاليا وإسبانيا والبرتغال	١٥٨٢	٥ ـ١٤ تشرين الأول (اكتوبر)
فرنسا	١٥٨٢	١٠ ـ١٩ كانون الأول (ديسمبر)
ألمانيا (كاثوليك)	١٥٨٣	تواريخ مختلفة
ألمانيا (بروتستانت)	١٧٠٠	١٩ ـ ٢٨ شباط (فبراير)
إنكلترا وإيرلندا واسكتلندا	١٧٥٢	٣ ـ١٣ أيلول (سبتمبر)
ألاسكا (كجزء من روسيا)	١٨٦٧	

اليابان*	١٨٧٣	
الصين*	١٩١٢	
الاتحاد السوفياتي	١٩١٨	١ ـ١٣ شباط (فبراير)
اليونان	١٩٢٤	١٠ ـ٢٢ آذار (مارس)
تركيا	١٩٢٦	١٩ ـ٣١ كانون الأول (ديسمبر)

* دول لم تستعمل التقويم اليوليوسي قبل الغريغوري

الجدري وجدري البقر: عدّ ناس القرن الثامن عشر الجدري وباء مخيفاً. وفي بعض موجاته، قتل الجدري شخصاً من ثلاثة أصيبوا به، وخلّف وراءه أرتالاً من المُشوهين والعُميان. ولوحظ أن الذين يضربهم الجدري ضربة خفيفة، يحظون بمناعة من ضرباته اللاحقة كلها. واكتشف الأتراك والصينيون أن من الممكن حماية الناس من الجدري بنقل بعض من قيح بثور المُصابين به إلى الأصحاء. وتسللت تلك الممارسة الغريبة إلى أوروبا، ولم تنل قبولاً. ورغم أن تلك «المناعة» تُخفف من الإصابة لاحقاً، فقد تضمّنت تلك الطريقة خطر نقل المرض إلى الأصحاء. واستطاع طبيب إنكليزي، إدوارد جينر، اكتشاف طريقة آمنة للتلقيح بتلك الطريقة عينها.

ولِدَ جينر في «غلوغشتاير» في العام ١٧٤٩. وعمل والده في الكنيسة، وتوفي خلال طفولته المبكرة، فرعاه أخوه الأكبر. وعندما بلغ سنّه الثالثة عشرة، شرع في التدرُّب على الجراحة. وفي الواحدة والعشرين، ذهب إلى لندن ليلتحق بعالِم التشريح جون هنتر الذي ذاع صيته كأبرز طبيب في إنكلترا حينذاك. وتشارك التلميذ وأُستاذه الاهتمام بمجموعة من العلوم، ومن ضمنها التاريخ الطبيعي. ولفت جينر أنظار النخبة الانكليزية. وكلّفه سير جوزيف بانكس تأليف كتاب عن العيّنات الجيولوجية التي أحضرها القبطان جايمس كوك في رحلته الأولى. وعاد إلى «غلوغشتاير» طبيباً. واهتمّ بمسألة جدري البقر. فلطالما عانت الفتيات اللواتي يعملن في حلب الأبقار، من آثاره المُضرة. وشاع بين الفلاحين أن أولئك الشابات يدرأن عن أنفسهن خطر الإصابة بالجدري، إذا ما أُصبن بجدري البقر.

والتمعت في رأس جينر فكرة الوقاية من الجدري، عبر نقل جرثومة جدري البقر.

حاول كثيرون قبله ذلك الأمر، ولم ينجحوا. وبيّنت بحوث جينر وجود نوعين من جدري البقر، وأن أحدهما يُعطي مناعة ضد الجدري، في حين يفشل الآخر. وبات مقتنعاً بأنه يجب نقل الجرثومة المناسبة إلى الناس، وفي وقت مؤاتٍ أيضاً، للحصول على الوقاية المطلوبة.

شاع جدري البقر في «غلوغشتاير» شيوعاً معتدلاً. وفي العام ١٧٩٦، لاحت فرصة للتجربة التي راودت عقل جينر طويلاً. ففي تلك السنة، قدمت إليه فتاة اسمها ساره نيلمس، تعمل في حلب الأبقار، وقد أصابها جدري البقر واصلاً إليها من مواشٍ في «بلوسوم». وأخذ قطرة من قيح في بثور سارة، ونقلها على طرف سكين إلى صبي في الثامنة من العمر، لم يكن مُصاباً بالجدري ولا بجدري البقر. وفي تجربة حملت مخاطرة بحياة الصبي وبسمعة الطبيب، عرّض جينر الصبي للإصابة بالجدري، عدة مرات. وبقي الصبي منيعاً. وفي العام ١٧٩٨، كرر جينر التجربة عينها، فنالت النجاح عينه. وإذ أحس بالثقة تملأ أعطافه، نشر جينر تفاصيل تجاربه. وسرعان ما طارت شهرته. ونال منحتين ماليتين من حكومة البلاد التي شعرت بالامتنان حياله. وبعد ممانعة لم تدم، أُسس برنامج للوقاية من الجدري. ونال ملايين الناس اللقاح: الكلمة التي ابتكرها جينر من كلمة لاتينية تشير إلى البقر. وخلال سنوات قليلة، انخفضت الوفيات بالجدري إلى ثلث ما كانته قبل لقاح جينر.

بات الجدري جزءاً من الماضي. وترجع آخر حال مُسجلة لدى «منظمة الصحة العالمية» إلى العام ١٩٧٨. وبعد ذلك أعلنت تلك المنظمة القضاء نهائياً على ذلك المرض. لقد شفت جرأة جينر وحشريته الأرض من وباء فتّاك.

جون غودريك: يحتكر عمالقة العلم، مثل نيوتن وفراداي وآينشتاين، أضواء الشهرة

والمجد. وتُغطي ظلالهم العملاقة أسماء كثيرة، فتُنسى. ومن هؤلاء «المنسيين» جون غودريك الذي مات في الواحدة والعشرين من العمر، مُحققاً إنجازات كثيرة، ووعداً لم ينُجز.

وُلِدَ غودريك في بلدة «غرونينغ» في هولندا، في العام ١٧٦٤، لأب انكليزي يعمل في السلك الديبلوماسي. وعند بلوغه السنّ الخامسة، ضربته الحُمى القرمزية، فأصيب بالصمم. وأُرسل إلى مدرسة متخصصة في «أدنبره»، حيث درس لغة الشفاه وكلامها. وتابع دروسه في مدرسة متخصصة أخرى قرب «يورك»، فجذبه علم الفلك.

وفي العام ١٧٨٢، بلغ الثامنة عشرة، وجاءه إلهام عن سرّ أحد النجوم. حمل النجم اسماً عربياً «الغول»، وينتمي إلى مجموعة «بيريوس». ويُشير الاسم إلى غرابة تصرّف النجم وشذوذه عمّا حوله. ويُشير الفلكيون إلى ذلك النوع باسم النجم المُتغيّر. ومرّة كل ثلاثة أيام، ينخفض نوره فجأة إلى الربع، ويبقى مغتماً عشر ساعات، ثم يستعيد ألقه الأصلي. ولم يحك الإغريق شيئاً عنه. ولعلهم اعتبروه إحراجاً لفكرتهم عن كون كامل لا يتغيّر. وعرفه فلكيو أوروبا منذ العام ١٦٧٠، لكنه بقي سراً مستغلقاً.

ودرس غودريك ذلك النجم درساً عميقاً. واكتشف أن تذبذبات ضوئه تحدث بانتظام مرّة كل ٦٨ ساعة و٤٩ دقيقة. وشرع في التفكير في سبب يُعلّل ذلك التذبذب. وخمّن أن نجم «الغول» له جرم رفيق غير مرئي يدور حوله، فيعتم ضوء النجم كلما مرّ ذلك الجرم الرفيق بينه وبين الأرض.

وفي ربيع العام ١٧٨٣، عندما بلغ الثامنة عشرة، قدّم غودريك ورقة إلى «الجمعية الملكية» يشرح آراءه فيها. وفي أبريل / نيسان من العام ١٧٨٦، نال عضوية تلك الجمعية، قبل أن يكمل الواحد والعشرين عاماً. وبعد ذلك مباشرة، قضى بمرض «ذات الرئة».

وفي العام ١٨٩٠، بعد وفاة غودريك بـ ١٠٤ سنوات، رصد فلكي ألماني، هيرمان فوغل، نجم «الغول» بجهاز لتحليل الطيف الضوئي. وأثبت دقّة تحليل غودريك للتغيّر في ضوء «الغول». وبيّن أن ذلك النجم جزء من نظام نجمي يضمّ نجمين، أحدهما مُعتم ويدور حول الآخر. ويُسمّى ذلك النظام «المزدوج الكاسف».

الضوء والصوت: يملك الضوء والصوت الكثير من المزايا المشتركة:

ينقل كلاهما معلومات عن أحداث سابقة إلى أعضاء طُوِّرت خصوصاً للتعامل مع تلك الرسائل. ويتمتعان بخصائص الموجة، ويملكان طيفاً. ويتحوران متأثّرَين بالوسط الذي يمران فيه. ويتشتتان بطريقة تتبع قانون نيوتن عن التناسب العكسي مع مُربع المسافة. ربما أُنهك رجل يجلس على مسافة متر من جهاز التلفزة، بشكاوى من زوجته التي لا تستطيع أن تتابع النكات التي تُبث عبر الشاشة. ولو أنها جلست على بعد ١,٥ متر، لوصل الصوت إلى أذنيها بنصف ما يصل إلى أُذنيه، ولحقَّ لها، حينئذ، الشكوى!

وكذلك، تنهض فروق كثيرة بين الصوت والصورة: يُشبه الضوء رسالة رُبطت بسهم من برق. ويماثل الصوت رسالة يحملها عدّاؤون في سباق التتابع. إنه اضطراب ينتشر عبر المادة نتيجة تصادم الجزيئيات التي تُكوّنها. وإذا لم توجد تلك الجزيئيات، ينعدم الصوت.

ولذا، لا يُسافر الصوت في الفراغ، في حين يعبره الضوء بشراهة.

يسير الضوء بأسرع مما يفعل الصوت. تصل سرعة النور في الفراغ إلى ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية. ولا تتجاوز سرعة الصوت في الهواء ٣٤٠ متراً في الثانية. ويُسهل ذلك ملاحظة المسار الذي تتبعه العواصف، برصد الوقت بين رؤية البَرق وسماع صوت الرعد. وإذا تأخّر الوقت بينهما إلى ٥ ثوان، تحدث العاصفة على بُعد ١,٧ كيلومتر.

السرعة المُتغيّرة للضوء والصوت: يتحرّك الصوت والضوء بسرعات متفاوتة، أثناء انتقالهما بين وسط إلى آخر. ويوضح الجدول الآتي تلك الفروق:

الوسط	السرعة (كيلومتر بالثانية)	مؤشر الانعكاس*
الفراغ	٣٠٠,٠٠٠	١
الهواء	٢٩٩,٥٠٠	١
الماء	٢٢٥,٠٠٠	١,٣٣
الزجاج	١٨٥,٠٠٠	١,٦٠

* مُعدّل انحناء الضوء أثناء مروره في الوسط.

وبعكس الضوء، تزداد سرعة الصوت في الوسط الأكثف، كما يوضح الجدول الآتي:

الوسط	السرعة (أمتار في الثانية)
الفراغ	صفر
الهواء	٣٣٠
الماء	١٢٨٠
الخشب	٣٨٥٠
الحديد	٥٠٦٠

الهواء الذي نتنشقّه: يتألف هواء الطبقات السفلى من الغلاف الجوي (إلى ارتفاع ١٥ كيلومتراً عن سطح البحر) من أربعة أقسام من النيتروجين وقسم من الأوكسجين. ويتشابه ذلك التركيب، إلى مدى كبير، في العالم. ويتألف الهواء الجاف (الذي لا يحتوي على بخار الماء) من المُكوّنات الآتية:

نيتروجين	٧٨,١ في المئة
أوكسجين	٢٠,٩ في المئة
أرغون	٠,٩ في المئة
ثاني أوكسيد الكاربون	٠,٠٣ في المئة*
مُكوّنات أخرى	٠,٠٧ في المئة

الهواء والعلو: يحتفظ الهواء بتركيب شبه ثابت في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي. وتقلّ كميته كلما ارتفع الإنسان عن سطح البحر. ويضغط الهواء بوزنه على الأجزاء السفلى من الغلاف الجوي، فتُصبح أكثر كثافة. ولذا، تقلّ كمية الهواء في الارتفاعات الشاهقة. ويُظهر الجدول الآتي هذا التغيّر:

* يرتفع معدل ثاني أوكسيد الكاربون في السواحل وحول الأحواض المائية وفي المدن، وتتفاوت معدلاته بحسب معدلات احتراق الوقود الأحفوري (النفط).

الارتفاع بالأمتار	كثافة الهواء
على مستوى سطح البحر	١٠٠ في المئة
١٠٠٠	٩٠
٢٠٠٠	٨٠
٤٠٠٠	٦٧
٨٠٠٠	٤٣

ترتفع قمة هملايا نحو ٨ آلاف متر. ويُخطئ من يظن أن العيش هيّن على ذلك الارتفاع. والصحيح أن ضغط الهواء ينخفض إلى النصف، حيث يُعقّد عمل الدورة الدموية ويُربك التنفس. ويستلزم الأمر تعوّداً بطيئاً لكي ينتظم التنفس ودورة الدم. وإذا صعد المرء فجأة إلى ارتفاع ٨ آلاف متر، فربما لا يعيش طويلاً.

المحافظة على الدفء: ثمة درس قاس يتعلّمه متسلقو الجبال يتعلّق بضرورة المحافظة على الدفء، وخصوصاً عندما تهبّ الرياح في الأعالي. وحتى عندما تنخفض الحرارة الخارجية، يسهل الإبقاء على الدفء الداخلي، عبر لبس ثياب مناسبة، إذا كان الهواء ساكناً. ويصبح الأمر فائق الصعوبة عندما تسير الرياح بسرعة في المرتفعات. ففي ظروف رياح الصقيع، يغدو الهواء قاتلاً.

في الهواء الساكن، يخلق دفء الجسد نوعاً من الطبقة العازلة من هواء ليس بارداً، فيقلّل ذلك الفرق بين الجلد والهواء الخارجي، وينخفض معدل فقدان الحرارة. وتتعاون تيارات الهواء مع البرودة في خفض الحرارة التي تحيط بالجلد مباشرة، مما يزيد من سرعة فقدان الحرارة.

وعلى عكس ما قد يتوقعه بعضهم، فإن ذلك الأثر يصل إلى ذروته في الرياح المتوسطة السرعة.

ويُفسّر ذلك بأن الريح التي تهب بسرعة ٣٦ كيلومتراً في الساعة، تتحرّك على الجلد

بضعفَي سرعة الريح التي تهبّ بسرعة ١٨ كيلومتراً في الساعة، في حين تنزلق الريح التي تعصف بسرعة ١١٠ كيلومترات على الجلد بسرعة تصل إلى ضعف ونصف ضعف الرياح التي تهبّ بسرعة سبعين كيلومتراً.

ويستخدم علماء المناخ مصطلح رياح صقيع لوصف ما ينجم عن اجتماع هبوب الريح مع البرودة. وتحمل تلك الرياح تهديداً لحياة الإنسان، بحسب النسب التي يبيّنها الجدول الآتي:

الحرارة الفاعلة التي تصنعها رياح الصقيع

سرعة الريح (كيلومتر في الساعة)	الحرارة حول الجلد (بالدرجات المئوية)			
صفر	٥	ـ ١٠	ـ ٢٠	ـ ٣٠
١٠	٢	ـ ١٢	ـ ٢٨	ـ ٤٠
٥٠	ـ ٢	ـ ١٧	ـ ٣٥	ـ ٤٨
١٠٠	ـ ٤	ـ ٢٠	ـ ٤٠	ـ ٥٤

سرعة الريح: تحتضن الجبال الرياح بسهولة. سُجّلت أعلى سرعة للرياح فوق جبل واشنطن، بنيوهامشاير، في ١٢ أبريل / نيسان ١٩٤٣. وبلغت ٣٧١ كيلومتراً في الساعة، أي ثلاثة أضعاف سرعة الأعاصير.

الغلاف الجوي للكواكب السيّارة: يرجع الفضل إلى الجاذبية في الاحتفاظ بغلاف جوي حول الكرة الأرضية. ويتحكم مفهوم سرعة الهروب، الذي يتحكم بقدرة المركبات على الانطلاق إلى الفضاء الخارجي، بكل ما يبقى قريباً من الأرض، ولا يفر إلى الفضاء، بما في ذلك الغازات. تتفاوت سرعة الجزيئيات في الغاز، وكذلك بين نوع غازيّ وآخر. وعموماً، كلما خفّ الغاز ازدادت سرعة جزيئياته. ويعتمد تركيب الغلاف الجوي على عنصرين:

١ ـ كمية الغازات عند سطح الأرض.

٢ ـ سرعة الهروب عند الارتفاعات المختلفة من الغلاف الجوي.

وفي حال الكرة الأرضية، يصل متوسّط سرعة جزيئيات الأوكسجين والنيتروجين حدّاً يقلّ كثيراً عن سرعة الهروب التي تبلغ ١١ كيلومتراً في الثانية. ولا يتسرّب سوى مقدار ضئيل من تلك الغازات، ومن أكثر الطبقات ارتفاعاً في الغلاف الجوي. ويكفي أن تُنتج الأرض تلك الغازات بكميات ضئيلة لتعيد التوازن إلى تركيب الغلاف الجوي. وتتمتّع جزيئيات الهيدروجين والهيليوم الخفيفين بسرعة أعلى، ولا يتوافر منهما سوى كميات ضئيلة.

وتُعاكس هذه الصورة ما يجري في الكواكب العملاقة في النظام الشمسي، مثل المشتري وزُحل اللذين يتألف غلافاهما الجويّان من هيدروجين وهيليوم.

وإذا زادت سرعة جزيئيات الغاز على سرعة الهروب في كوكب مُعيّن، فإنه يتبدد في الفضاء. ويعني ذلك أن خفض سرعة الهروب في كوكب مُحدّد يُفقده القدرة على الإمساك بغلاف جوي. لذا، ليس ثمة غلاف جوي تقريباً حول المريخ. ويعدم القمر أي غلاف من الغازات. ولو أنهما امتلكا غلافاً جوياً، لتبدد في الفضاء الكوني.

الطبقة العليا من الغلاف الجوي: علمياً، يشبه الغلاف الجوي عند قمة أفرست الهواء كثيراً في أعمق نقطة من الأرض. يُطلق العلماء على الـ ١٦ كيلومتراً الأولى من الغلاف الجوي، اسم «تروبوسفير». ويعتبر ساحة للغيوم والمناخ والطقس وغيرها.

تلي ذلك طبقة «ستراتوسفير». وترتفع بين ١٦ كيلومتراً و٥٠ كيلومتراً فوق سطح البحر. وترتفع الحرارة في هذه الطبقة إلى حدٍّ ما، نتيجة السخونة المنطلقة من تحوّل الأوكسجين إلى أوزون، تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية.

وفوق الستراتوسفير، تأتي طبقة «ميزوسفير»، على ارتفاع يراوح ما بين ٥٠ كيلومتراً و٨٠ كيلومتراً فوق سطح البحر. وتنخفض الحرارة فيها على نحو لافت للنظر. ويُصبح

الهواء واهناً تماماً، ولكن يبقى منه ما يكفي لإعاقة حركة الأجسام المتحركة بسرعة. وفي هذه الطبقة، تلاقي الشُهُب حتفها، فتحترق وتتلاشى.

وفيها أيضاً، تتشكّل بلورات الثلج على هيئة غيوم «نكتيليوسانت» الشاهقة، التي تُرى بعد هبوط الظلام، بحيث تضيئها شمس مختفية تحت الأفق.

وتعلو الميزوسفير طبقات رقيقة من الهواء، فتتشكل طبقة «أيونوسفير».

وتعكس طبقات الأيونوسفير موجات الراديو الطويلة، وهذا ما يسمح للمستمعين بالتقاط تلك الموجات عبر العالم. وبعدئذ، تأتي طبقة «ثيرموسفير» التي تمتد إلى مسافة ٥٠٠ كيلومتر. وما يلي ذلك، وصولاً إلى آلاف الكيلومترات، يشكّل طبقة «إيكزوسفير»، ويشفّ الهواء إلى حد العدم. وفي طبقة إيكزوسفير، تسبح ذرات عالية السرعة بين موجات مغناطيس الأرض، لذا تتجنّبها الأقمار الاصطناعية، وتدور تحتها. ومن وجهة نظر العلم، تُعتبر إيكزوسفير جزءاً من غلاف الأرض الجوي، ويُشير إليها معظم الناس باسم «الفضاء».

دالتون والذرّة: بات مفهوم الذرّة، باعتبارها اللبنات التي تُصنع منها المادة في الكون، شائعاً إلى حدّ كونه مقولة مُسلّماً بها. وقبل مئتي سنة، كان مجرد الإشارة إلى الذرّة كافياً ليعتبر الكلام قريباً من الأوهام.

وحينذاك، عمل كيماوي إنكليزي، جون دالتون، بقوة على إسباغ الاحترام العلمي على مفهوم الذرّة. وُلِدَ دالتون في قرية «إيجلسفيلد» بريف «كامبرلاند»، في العام ١٧٦٦. وانتمى إلى طائفة «الكواكر»، وهي فئة ذات أفكار خاصة بخصوص علاقة الإنسان بالدين. عمل أبوه في الحياكة. وترك المدرسة لدى بلوغه الحادية عشرة، ليعمل مُدرّساً في مدرسة للكواكر. وفي بداية الأمر، اتجه شغفه العلمي إلى المناخ، فشرع في درسه وله من العمر عشرون عاماً، مستخدماً أدوات ابتكرها بنفسه.

وفي العام ١٧٩٣، نشر كتابه «مقالات وملاحظات عن المناخ»، الذي يُعتبر الأول في نوعه. واستمر اهتمامه بالمناخ نصف قرن، مُدوّناً نحو مئتي ملاحظة عن الطقس، إلى أن وافته المنيّة.

وفي العام ١٧٩٤، أصبح أول من وصف عمى الألوان، وزاد تأهيله لكتابة الموضوع إصابته بذلك النوع من العمى!

لم تفصل سوى خطوة صغيرة بين التفكير في المناخ وتأمل تركيب الهواء. ونقلته خطوة أخرى من التفكير في الهواء إلى التفكير في صفات الغازات عموماً. وسرعان ما أصبح من أشدّ المتحمسين للفكرة القائلة أن الغازات تتألف من جسيمات دقيقة، لا تُرى بالعين، على غرار تركيب المواد الصلبة والسائلة أيضاً.

وبرهن الكيماوي الفرنسي جوزيف لويس بروست، في العام ١٧٩٩، أن مادة كاربونات النحاس تحتوي على عناصر: النحاس والكاربون والأوكسجين، بنِسَب ٥ إلى ٤ إلى ١ على التوالي. وكذلك بيّن أن تلك النسب لا تختلف بين كاربونات النحاس الآتي من الطبيعة، وذلك الذي يُركّب في المُختبر. وكذلك برهن لاحقاً أن الأمر عينه ينطبق على مركبات أخرى. ولخّص ذلك المبدأ في نص بات يُعرف باسم قانون النِسَب المُحدَّدَة.

وأدرك دالتون أن قانوناً كهذا يحمل الإملاءات الآتية:

١ ـ العناصر مؤلفة من جسيمات دقيقة.

٢ ـ جسيمات العنصر المُحدّد لها الوزن نفسه.

٣ ـ جسيمات العناصر المختلفة تملك كتلاً متفاوتة.

٤ ـ المزج بين العناصر يجري على مستوى الجسيمات المفردة.

ثم أكّد أن العناصر تتّحد بمقادير مختلفة لتُكوّن مُركّبات متنوّعة. وقاده ذلك إلى التفكير في أن غازَي الميثان والإيثيلين يتألفان من اتحاد النيتروجين والكاربون بنسب متباينة. وينطبق الوصف عينه على أول أوكسيد الكاربون وثاني أوكسيد الكاربون. وجسّد استنتاجاته عبر إعادة صوغ قانون بروست، الذي سمّاه قانون النِسَب المتعددة.

وأدرك دالتون أن الجسيمات تتشابه والذرّات التي نادى بها الفيلسوف الإغريقي ديموقريطس من حيث أنها اللبنات التي تُبنى بها الطبيعة. لذا، استعار كلمات ديموقريطس في وصف جسيماته. ولم يستعر من الإغريق سوى ذلك، لأن الذرّة التي نادى بها ديموقريطس

مثّلت مفهوماً فلسفياً، من دون دعم من نظرية علمية أو تجارب في المختبرات.

في العام ١٨٠٨، شرح دالتون أفكاره في كتابه «النظام الجديد للفلسفة الكيماوية». وبعد بضع سنوات، شاعت مفاهيمه القائلة إن التفاعلات الكيمياوية عبارة عن تفاعل بين ذرّات المواد المُختلفة، بنِسَب ثابتة، عبر عملية قابلة للقياس بدقة. وأطلق ذلك نظرة جديدة إلى الكيمياء رفعها إلى مصاف العلوم الدقيقة.

وحال طبع دالتون المتواضع، ومعتقدات «الكواكر»، دون قبوله ما أسبغته عليه الحكومة والأوساط العلمية من تكريم، ولكنه وافق على قبول درجة علمية شرفية من جامعة أوكسفورد. وارتدى في حفل تكريمه ثوباً قرمزياً، اللون الذي لا يُفترض بأعضاء «الكواكر» ارتداؤه. وأنقذته إصابته بعمى الألوان، لأن الثوب بدا لعينيه رمادياً.

بطارية غالفاني: في العام ١٧٩١، نشر لويجي غالفاني، المُحاضِر في التشريح والأستاذ في طب النساء والولادة في جامعة «بولونيا» الإيطالية، ورقة علمية وصف فيها تجاربه على الضفادع. وروى فيها أن الضفادع شُرِّحَت ثم وُصِلَت أرجلها إلى أسلاك كهربائية، ثم صارت الأرجُل ترتعش مع سريان تيار الكهرباء.

ووصف أيضاً أن تلك الأرجل المُشرّحة عادت للارتعاش عندما وُضِعَت على سطح معدن خلال عاصفة برق، أو عند لمسها بمعدنين مختلفين في اللحظة عينها. واستنتج أن ما رآه يعطي برهاناً على انطلاق «كهرباء حيوانية» كانت مختزنة في أجساد الضفادع.

أرسل غالفاني نسخة من تلك الورقة إلى صديقه أليساندرو فولتا، أستاذ الفيزياء في جامعة «بافيا»، على أمل أن ينال دعمه علمياً. ولكن فولتا أصرّ على القول، عبر سلسلة مقالات نُشرت بين العامين ١٧٩٢ و١٧٩٣، إن الارتعاشات نجمت عن تيار كهربائي خارجي، بما فيها التفاعل الذي نجم بين سطحين معدنيين مختلفين. ولدعم نظريته، أجرى فولتا تجارب تضمّنت أنواعاً مختلفة من المعادن، ليرصد قدرتها على توليد تيار كهربائي. ووضع لسانه على طرف الأسلاك لمعرفة تقدير قوة التيار، فأوحى له الأمر أن اللعاب يشارك في صنع الأثر الكهربائي.

ولذا، عمد إلى وضع ألواح من معادن مختلفة في سوائل منتقاة. وفي العام ١٨٠٠، ابتكر «بطارية فولتا»، التي تُعدّ أول بطارية غير جافة عالمياً. وتكوّنت من قرصين من الفضة والزنك، مغمّسين في سائل مالح.

في العام ١٨٠١، دُعيَ فولتا إلى باريس ليعرض بطاريته على مرأى من نابليون بونابرت الذي أنعم عليه بلقب كونت، وضمّه إلى جوقة الشرف.

الكيمياء الكهربائية: في مارس / آذار من العام ١٨٠٠، بعث فولتا رسالة إلى السير جوزيف بانكس، رئيس «الجمعية الملكية»، مع رسم تقريبي عن ابتكاره. وصلت أخبار تلك الرسالة إلى أُذنيِ مُهندس مائي تحوّل إلى كاتب علمي، اسمه وليام نيكلسون. وأسرع نيكلسون إلى صنع بطارية مُشابهة. وغمس الأسلاك التي تحمل تيارها في الماء. واكتشف أن سريان التيار ترافق مع ظهور فقاعات غاز عند تلك الأسلاك. وتبيّن أن الفقاعات ترجع إلى غازيِ الأوكسجين والهيدروجين. وأدرك نيكلسون أنه سار في مسار مُعاكس للتجربة التي أجراها كافنديش قبل سبعة عشر عاماً، عندما أنتج الماء من حرق الهيدروجين بأوكسجين الهواء. وبعبارات العلم الراهن، توصل نيكلسون إلى «التحليل الكهربائي للماء»، وبات أول من برهن أن التيار الكهربائي باستطاعته إطلاق تفاعل كيمياوي.

عمل نيكلسون مُحرراً في مجلة علمية عن الكيمياء. ولم يدّخر وقتاً لنشر ما اكتشفه. وطارت تلك الأخبار لتصل إلى فولتا، حتى قبل أن يُعلن الأخير ابتكاره على الملأ. ومع برهان نيكلسون إمكان استخدام التيار الكهربائي في التفاعلات الكيمياوية، وبطارية فولتا (التي أكّدت إمكان توليد تيار كهربائي بوسائل كيمياوية)، وُلِدَ علم الكيمياء الكهربائية.

همفري دافي: في مستهل القرن التاسع عشر، فُرض نظام السير باتجاه واحد، للمرة الأولى تاريخياً، في مدينة «ألبمارل»، قرب ساحة البيكاديللي في لندن. وجاء هذا الإجراء، جزئياً، حلاً للازدحام الكبير في العربات التي تجرها الأحصنة، والذي يحصل

كلما دعت «المؤسسة الملكية» إلى محاضرة علمية. وقد أُنشئت «المؤسسة الملكية» على يد بنجامين تومبسون، كمؤسسة خاصة لا تسعى إلى الربح.

عمل تومبسون جاسوساً، إضافة إلى كونه عالماً هاوياً. وحمل لقب كونت رومفورد. وسعت «المؤسسة الملكية» إلى تأمين الوسائل والمعدات التي تُسهل الأبحاث العلمية، فضلاً عن اهتمامها بتدريس العلوم ونشرها بين الناس. ومحض رومفورد تلك المؤسسة مبنىً مُجهّزاً في شارع «ألبمارل»، ضمّ قاعة وثيرة للمحاضرات، ما زالت تؤدي تلك المهمة إلى اليوم. وبعد سفره إلى باريس، بات بسرعة عشيقاً لأرملة لافوازييه. وقبل أن يغادرها، دعا شاباً اسمه همفري دافي، ليعمل مُحاضراً مُساعداً في «المؤسسة الملكية».

وُلِدَ دافي في «بينزانس»، بكورنوول، في العام ١٧٧٨. ونشأ في كنف أب يعمل في النقش على الخشب. وتعلّم بنفسه، مُعظم الوقت. وفي التاسعة عشرة، قرأ كتاب لافوازييه «بحث أولي»، فحضّه ذلك على الشغف بالكيمياء. وعندما دُعي رومفورد دافي ليحاضر في «المؤسسة الملكية»، كان مشرفاً طبياً على مؤسسة استجمام أريستوقراطية في بريستول. وبعد سنة، توفي أستاذ الكيمياء، وعُيّن دافي في منصبه. حدث ذلك في وقت ارتسم فيه دافي كشاب وسيم، عمره ٢٣ سنة، وكمحاضر مُتمكن. واستهوت محاضراته الأفئدة إلى حدّ التسبب بالازدحام الشديد. ولعبت وسامته الذكورية دوراً في الترويج لمحاضراته، وهذا ما عبَّرت عنه إحدى سيدات المجتمع الراقي بالقول: «إن عينيه لم تُخلقا لتذويا في التحديق بالاختبارات».

وعندما علم دافي بأعمال فولتا ونيكلسون، انجذب إلى موضوع التحليل الكهربائي للمواد السائلة. وفي زمانه، اعتقد كثير من العلماء بأن مواد شائعة، مثل البوتاس والصودا والمغنيسيا، تحتوي على عناصر معدنية مجهولة. وتوصّل دافي إلى صنع بطارية قوية. ووضع فيها ٢٥٠ سطحاً معدنياً، تسري تيارات الكهرباء في السوائل التي تحويها كلها. ومن البوتاس، حصل على معدن لم يكن معروفاً من قبل، لكنه يُصدر لهيباً عند ملامسته الماء. وسمّاه بوتاسيوم. وبعد ذلك بأسبوع، حصل على معدن آخر من الصودا، سمّاه

الصوديوم. وفي السنة التالية، نجح دافي في عزل أربعة عناصر جديدة: الباريوم والسترونيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. وأثار نجاح دافي في عزل البوتاسيوم أسطورة رسمته بطلاً محبوباً في أوساط النخبة اللندنية. وبلغ من الحماسة لمحاضراته أن بيعت تذكرة حضورها مقابل عشرين جنيهاً استرلينياً، أي ما يُساوي ألفاً بأسعار تلك العملة راهناً. وفي العام ١٨١٥، توّج حياته المهنية باختراع مصباح دافي الذي مكّن عمال المناجم من العمل بأمان، حتى بوجود غازات سامّة. وأنهى حياته ثرياً ومشهوراً، ورئيساً لـ«الجمعية الملكية»، ورمزاً وطنياً. ولم يُعكر عليه صفوه سوى غيرته القاتلة من ميشال فاراداي الذي اكتشفه دافي بنفسه، وسرعان ما خلف مُكتشفه في «المؤسسة الملكية»!

كم يبلغ عمر الأرض؟: مطلع القرن التاسع عشر، شكّلت الجيولوجيا علماً صاعداً. ومع تزايد الاكتشافات عن تركيبة الصخور، إضافة إلى العثور على مجموعات من المتحجّرات الضاربة في القِدَم، انفتح باب للسؤال عن عمر الأرض نفسها. وتجمّعت حوله سُحبٌ كثيفة من السجال الحاد.

وتمسك بعضهم بالصيغة التوراتية التي تشير إلى أن عمر الأرض لا يزيد على ٦ آلاف سنة. ورأى عدد متزايد من العلماء أن الرقم لم يعد مقبولاً. وقدّر هؤلاء أن للكرة الأرضية تاريخاً أكثر قدماً.

وفي خضم النقاش، قُدّم رقم مذهل، وزاد في مفارقاته أن الذي وضعه هو عالِم رياضيات وليس اختصاصياً في الجيولوجيا.

وُلِدَ جان ـ بابتيست جوزيف فورييه في «أوكسير» بفرنسا في العام ١٧٦٨. وامتهن والده الخياطة، لكن الولد فقده وهو في سنّه الثامنة. ولعب دوراً جانبياً في الثورة الفرنسية الكبرى، فنجا من المقصلة بأعجوبة.

ونما لديه ميل إلى أن يُصبح ضابط مدفعية، لكنّه لم يستطع تحقيقه بسبب رقة حاله. ورعته الكنيسة، ومكنته من متابعة الأكاديمية العسكرية في «أوكسير»، حيث عمل في التدريس بعد تخرّجه مباشرة. وعند تأسيس «كلية العلوم الطبيعية» في باريس في العام

١٧٩٥، انتقل إليها مُحاضراً. وأدّى نجاحه في ذلك المنصب إلى تعيينه أستاذاً لعلم التحليل في «كلية البوليتكنيك». وفي العام ١٧٩٨، سافر مع نابليون بونابرت إلى مصر، حيث عُيّن حاكماً على بعض المناطق. ومع سقوط نابليون، كرمت سلالة آل بوربون، العائدة إلى السلطة، فورييه. وفي العام ١٨٢٢، عُيّن سكرتيراً لـ«الأكاديمية الفرنسية»، بالمشاركة مع عالِم التشريح كويفر.

وأبدى فورييه اهتماماً خاصاً بسريان الحرارة بين الأجسام. ولم تكن آليات ذلك الانتقال مفهومة، حينذاك. ونقل فورييه تضلعه من الرياضيات، ليستعمله في حلّ هذه المعضلة. وفي العام ١٨٠٧، نشر ما اشتُهِر لاحقاً باسم «نظرية فورييه»، التي جلبت له شهرة مدوّية، وبسببها وهبه نابليون لقب بارون في العام ١٨٠٨.

أظهر فورييه أن التذبذب الدوري المُعقّد، ضمن نظام يعود بانتظام إلى حاله السابق، يمكن تفكيكه عبر سلسلة من الخطوات التراكمية، تتضمن تذبذبات بسيطة، بحيث يُعاد إنتاج النظام السابق من التذبذب الدوري المُعقّد. وكذلك يمكن صوغ تلك العملية على شكل معادلات رياضية.

في العام ١٨٢٢، نشر كتابه «النظرية التحليلية للحرارة»، الذي يعتبر تحفة ما أنتجته علوم القرن التاسع عشر. وفيه شرح ابتكاراته الرياضياتية في الموضوع الذي شدّ اهتمامه دوماً: انتقال الحرارة بين الأجسام.

وصرف انتباهه إلى مسألة الوقت الذي لزم الأرض لكي تبرد وتصل إلى مستواها الراهن من الحرارة. وأشارت حساباته إلى أن للكرة الزرقاء تاريخاً يبلغ مئة مليون سنة. ويبعد الرقم عمّا يعتمده العلم راهناً بمقدار ٥٠ / ١.

وأحدث ذلك الرقم صدمة كبرى، لأنه فاق كل ما تخيّله معاصروه الذين لم يكونوا قد استوعبوا قول عالم الطبيعة الفرنسي بوفون إن الأرض يفوق عمرها ٧٥ ألف سنة.

ومهّدت نظرية فورييه لظهور فرع جديد من الرياضيات يُسمّى «التحليل المُنسجم». وقد استُخدم في تحليل عدد كبير من الأوضاع التي تتضمّن عمليات مُعقّدة ينبغي تفكيكها إلى أقسامها المُكوّنة، بحيث يمكن درسها واستخلاص نتائجها المتوقعة مستقبلاً.

واستُعمل هذا «التحليل المنسجم» في تحليل موجات الصوت، وفي سبر مدى الانسجام بين التراكيب الموسيقية، ودرس ظاهرة النجوم المُتغيِّرة، ورصد التنافس على البقاء بين الأنواع الحيّة، وفي درس التغيّرات الطويلة الأجل في المناخ، وغيرها من الظواهر التي تملك طابعاً دورياً مُعقّداً.

فورييه و«أثر البيت الزجاج»: يبدو مصطلح «أثر البيت الزجاج» (الذي يشير إلى تراكم غازات التلوّث وإحاطتها بالأرض مثل إحاطة بيت الزجاج بالنباتات فيه) وكأنه تعبير مُعاصر. ولكنه ظهر قبل مئتي عام، على يد فورييه.

فبعد نشره كتاب «النظرية التحليلية للحرارة»، الذي ضمّ دراسة عن عمليات التبريد في الكرة الأرضية، أدار فورييه اهتمامه صوب الغلاف الجوي وغازاته، وكذلك صوب عمليات التبادل الحراري التي تجري عبر تلك الغازت وبواسطتها.

وقدّم تفسيراً لسبب ضآلة التغيير في الحرارة بين الليل والنهار. وتطرّق إلى الآليات التي ساهمت في رسم مناخ الأرض بطريقة جعلته مناسباً لاحتضان أشكال الحياة المتنوعة.

ورأى فورييه أن الغلاف الجوي للأرض عمل مثل بطانية عازلة، فهو يبطئ معدل إخراج حرارة الأرض إلى الفضاء ليلاً عندما يغيب أثر الشمس، وبذا يقلّل الفرق في درجات الحرارة بين الليل والنهار، وكذلك بين الصيف والشتاء. ودعا ذلك باسم «أثر بيت الزجاج».

ولعله عانى من أثر نوع من «بيت الزجاج»، بسبب شغفه الهائل بالحفاظ على حرارة جسده. وأبقى على حرارة منزله مرتفعة على الدوام، كما واظب على ارتداء ملابس ثقيلة. ومن الصعب الجزم في أثر هذه الممارسات على صحته، لكنه توفي فجأة، عقب سقوطه عن السلم، وله من العمر ٦٢ سنة.

برزيليوس والرموز الكيمياوية: ثمة حكمة غربية شائعة تقول: «اعتزل عندما تكون في القمة». ولعلها تنطبق على العلوم أكثر مما تنطبق على أي نشاط إنساني آخر. ولو أن بعض العلماء البارزين عمل بتلك الحكمة، لترك أفضل صورة عن نفسه. إذ عمل كثيرون

منهم على رفع سقف العلم في شبابهم، ثم انقلبوا إلى عقبة كأداء في وجه تقدّمه، في خريف أعمارهم.

وبين ثلاثينات القرن التاسع عشر وأربعيناته، اجتاح السويدي يوناس جاكوب برزيليوس علم الكيمياء، كمن ينتعل خفّيِ الريح، بحسب وصف شهير عن الشاعر الفرنسي أرتور رامبو. وبلغ من شهرته أن صدّق الجميع كل كلمة قالها. إن كان من خطأ علمي حينذاك، وما أكثر ما ارتكب من أخطاء فبسببه. وعندما مات، أحس العلماء الشباب أن ثقلاً هائلاً انزاح عن أكتافهم. واستهل حياته المهنية كمخترع لامع.

وعمل بدأب على إرساء أسس علم الكيمياء الحديث. وعند بلوغه الثلاثين من العمر، أعطى ذلك العلم اللغة التي ما فتئ يتحدث بها إلى الآن.

وُلِدَ في «فافيرسوندا شورغارد»، قرب «لنكوبينغ» جنوب السويد، في العام ١٧٧٩. انتمى أبوه إلى السلك الكهنوتي، ومات قبل أن يبلغ برزيليوس سنّه الرابعة. وقضت أمه نحبها قبل بلوغه الثامنة. وتبنّاه أحد القساوسة، وشجعه دوماً على التعلّم. ولكنه لم يُنفق كثيراً على تعليم برزيليوس. ولم تكن سنوات دراسته الجامعية في «أوبسالا»، حيث درس علوم الطب والكيمياء، هيّنة. وأعان نفسه بأن عمل مدرّساً خصوصياً لبعض الطلبة. وفي العام ١٨٠٢، تخرج طبيباً، وعيّن أستاذاً مُساعداً لعلمي الصيدلة والنبات في جامعة استوكهولم. وبات لاحقاً أستاذاً جامعياً في الكيمياء في «مؤسسة كارولينا للكيمياء والجراحة».

تبنّى برزيليوس نظرية دالتون عن الذرّة. وفي العام ١٨٠٧، عند بلوغه الثامنة والعشرين، انخرط في برنامج واسع للأبحاث بغية كشف مُكوّنات المُركبات الكيمياوية، واحتساب الوزن الذري للعناصر التي تؤلفها.

وخلال السنوات العشر التالية، استطاع تحليل التركيب الكيمياوي لألفَي مُركّب. وفي العام ١٨١٨، نشر جدولاً عن الأوزان الذرّية للعناصر الكيمياوية، يُظهر النسب التي تتحد فيها تلك العناصر بعضها ببعض. وأصدر نسخة مُحَسّنة عن ذلك الجدول في العام ١٨٢٦. ولم يخلُ ذلك الجدول من الأخطاء الأصيلة، لأن برزيليوس لم يستطع أن يزيل

من دماغه الالتباس بين الذرّة والجُزيء. (يتكوّن الأخير من أكثر من ذرّة، لكنه يتصرّف كذرّة، بمعنى كونه أبسط تركيب للمادة التي يُكوّنها).

وفي ذلك الحين، عانى علماء الكيمياء الأمرين من صعوبة الرموز التي تُكتب بها المُعادلات الكيمياوية. وقد اعتمدت على لغة صُوَرية ترجع بجذورها إلى الخيمياء، وهذا ما أدى إلى غموض المعادلات الكيمياوية، بدلاً من أن تكون وسيلة لإيضاح تفاعلات المواد المختلفة. وحاول دالتون الحدّ من تلك الصعوبة، لكنه استقى رموزه أيضاً من لغة صُوَرية، فبقيت مُربِكَة. ومن دون نظام سهل للرموز، ظلّ علماء الكيمياء مُقَيَّدين كحال علماء الرياضيات أيام الكتابة بالأعداد الرومانية.

واستطاع برزيليوس أن يحلّ تلك العقدة. وأعطى الكيمياء لغة ما زالت تتداولها، مع تعديلات طفيفة. ونال ثناء لا يُضارع من مؤلفي الكتب العلمية. وارتكز نظامه على منحيين في وصف التفاعلات الكيمياوية، وبذلك سهّل التفكير في الأسس الواقعية لتلك التفاعلات. ففي المنحى الأول، هجر برزيليوس استعمال الأسماء الكاملة للعناصر، واستعاض عنها بكتابة الحرفين الأولين من اسمها باللاتينية. وبذا، كتب النحاس، وهو «كوبروم» Cuprum باللاتينية، بحرف «سي» و«يو» Cu، والذهب Au وهكذا. وفي المنحى الثاني، وصف المُركّبات الكيمياوية عبر اتحاد رموز العناصر الكيمياوية التي تؤلفها. فمثلاً، كتب «سُلفيد الزنك» Zinc Sulphide، على هيئة ZnS. وبدا النظام سهلاً وعملياً وبديهياً.

ومثل كثير من نُظُم الرموز المُهمة، كالأعداد العربية، فإنها تبدو بديهية بعد اكتشافها، وليس قبل ذلك إطلاقاً.

خالط سنوات برزيليوس الأخيرة كثيرٌ من الأمراض. ولم يمنعه ذلك من التفوق حيث حلّ. وفي سن النضج، أي عندما بلغ السادسة والخمسين، تزوّج فتاة في الرابعة والعشرين، كانت ابنة أحد أصدقائه. ودام زواجهما عشر سنوات.

المعادلات الكيماوية: انتصبت في وجه نظام رموز برزيليوس الكيمياوية بعض العقبات، مثل كيفية كتابة المُركبات المُكوّنة من عناصر متماثلة. فمثلاً، يتألف أول أوكسيد

الكاربون من ذرة أوكسجين وذرة كاربون. ويتكوّن ثاني أوكسيد الكاربون من ذرتَي أوكسجين وذرة كاربون.

وفي مؤلفاته الأولى، استعان برزيليوس بالنقاط الصغيرة لكتابة الفرق بين المُركبين، ثم جرّب رموز علم الجبر. وأخيراً، مال إلى الكتابة بواسطة النصوص الفائقة: أرقام توضع فوق رموز العناصر. ثم جاء اختصاصي ألماني في الكيمياء، وغيّر ذلك إلى النصوص الصغيرة التي ما زالت موضع الاستخدام إلى اليوم، والتي تكتب الأرقام تحت رموز العناصر.

خطوط فرونهوفر: في مستهل القرن التاسع عشر، كانت النجوم مغمورة بالغموض. لقد احتسبت المسافات التي تفصل في ما بينها، وكذلك أُعدّت قوائم بأعدادها وحركاتها وتجمّعاتها وكتلها. وفي الأذهان، ظلّت مجرد نقاط مُنيرة. ولم تكن طبيعتها معروفة. فقد أضاف التيليسكوب كثيراً إلى معارف الإنسانية عن الكون. ولا تقود المعرفة دوماً إلى التفهّم.

ومع ميلهم إلى الاعتماد على التيليسكوب وحده كأداة للتعرّف على النجوم، ظلّ الفلكيون غرباء في مدينة كبيرة: يعرفون الأرقام والأسماء ومظاهر الناس، لكنهم لا يتكلمون لغتهم. ولولا التكنولوجيا، لظلّ علم الفلك في القرن التاسع عشر تكراراً لما سبقه. ولكن ذلك القرن شهد أداة تكنولوجية غيّرت علم الفلك جذرياً. ويرجع الفضل في ذلك إلى عالِم الضوئيات الألماني جوزيف فون فرونهوفر وابتكاره جهاز تحليل الطيف الضوئي، الذي يُشار اليه بمصطلح «سبكتروسكوب» Spectroscope، وترجمته «المِطياف».

وُلِدَ فرونهوفر في «شتروبنغ» بولاية بافاريا، في العام ١٧٨٧. عمل والده زَجَّاجاً. وتيتم فرونهوفر، الأصغر بين إخوته، في الحادية عشرة. وعندما بلغ الرابعة عشرة، نجا وحده، بأُعجوبة، من انهيار المنزل الذي قطنته عائلته. وعندما سمع حاكم ولاية بافاريا ماكسميليان الأول بهذه الواقعة، منح الناجي ثمانية عشر كيلو من الذهب ليعيل نفسه، واستخدمها فرونهوفر ليصير عالماً في الضوئيات. وقد درس ذلك العلم على نفسه.

ووضع دراسة عن المزايا الضوئية لأنواع الزجاج المختلفة. ومهَر في صناعة الأدوات الزجاجية، فبات رئيساً لشركة «ميونيخ للأدوات الفلسفية».

وقبله بقرن، صعد إسحق نيوتن بدراسة الضوء إلى أفق عال، بشرحه الألوان المُكوّنة له. وتميّزت المناشير والعدسات التي أنتجتها شركة فرونهوفر بنقائها. وفي العام ١٨١٤ نجح في التنسيق بين عملَي التيليسكوب والموشور، وضمهما معاً في أداة ابتكرها بنفسه، وعُرفت باسم «مِطياف الموشور». وبين العامين ١٨١٤ و١٨١٧، استعمل تلك الأداة في حلّ كثير من الأسئلة التي راودت نيوتن. واكتشف أن طيف الضوء يحوي، إضافة إلى حزم الألوان، خطوطاً سوداً. وتُمثّل حزم الألوان موجات الضوء الموجودة في الطيف. وتُشكل الخطوط السود موجات لا تتمثّل بألوان ذلك الطيف.

واستطاع أن يَعُدّ ٦٠٠ خط منها، عُرفت منذ ذاك باسم «خطوط فرونهوفر». وضمّن أوصافها جدولاً يبتدئ باللون الأحمر، عند طرف الطيف، وأعطاها تسلسلاً بحسب حروف الهجاء. ولا يزال هذا النظام مستخدماً إلى حد الآن. واكتشف أن خطوط ضوء الشمس المنعكس من القمر والكواكب السيّارة، تتماثل مع تلك التي تظهر في طيف الضوء الآتي من الشمس مباشرة. ونجح في تحليل طيف الضوء الصادر من النجوم. ولاحظ أن ضوء الشمس يضم خطوطاً لا تظهر في ذاك الآتي من النجوم. ورغم أهمية هذه الاكتشافات، فإن المجتمع العلمي تجاهلها، حينئذ، لأن صاحبها لم يك عالماً. وبعد نصف قرن، التقطها أحد النابهين، فارتقت إلى المكانة التي تستحقها.

تجارب كيرشوف: لم يستفد علم الفلك من اكتشافات فرونهوفر المهمة، وما كان لها أن تُساهم في ظهور علم التحليل الطيفي للمواد على مستوى الذرّات، لولا الجهد الذي بذله الفيزيائي الألماني غوستاف كيرشوف الذي جعلها مدخلاً لعلم جديد. وُلِدَ كيرشوف ابناً لمحام، في مدينة «كيونغسبرغ» البروسية (كالينينغراد الروسية راهناً) في العام ١٨٢٤. ودرس في جامعتها. وقضى عشرين سنة أُستاذاً للفيزياء في جامعة «هايدلبرغ»، ثم اثنتي عشرة سنة في منصب مماثل في جامعة برلين. وخلال حياته المهنية، قدّم مساهمات بارزة

في علمَي الرياضيات والفيزياء التجريبية، وخصوصاً في نظرية التوصيل الكهربائي. وبرهن، للمرة الأولى تاريخياً، أن التيار الكهربائي يسير بسرعة الضوء.

وعندما انتقل إلى «هايدلبرغ»، في العام ١٨٥٤، تعرّف إلى بروفسور في الكيمياء اسمه روبرت بونسين، يكبره بثلاث عشرة سنة. وعندئذ، نُظر إلى بونسين باعتباره عالماً شهيراً، خصوصاً في الكيمياء العضوية. وكلفته إحدى التجارب فقدانه إحدى عينيه. وشارف الموت تسمماً بالزرنيخ، في سياق تجارب أخرى! ثم ترك الكيمياء العضوية. ورفض السماح بتدريسها في القسم الجامعي الذي يديره. وقد تنوّعت اهتماماته في الكيمياء العضوية. وابتكر لها مجموعة من الأدوات، منها «مشعل بونسين» الذي يملأ مختبرات العالم إلى اليوم.

وبعد نصف قرن من تعرّف فرونهوفر إلى خطوطه الطيفية، بات واضحاً أن بعض خطوط الطيف الضوئي يتأثر بعناصر كيمياوية مُعيّنة. وعند تعريض عنصر للضوء، تصدر منه مجموعة من الخطوط اللامعة (خطوط البث) لتحتل أمكنة محددة على جدول الطيف الضوئي. وكذلك يمكن تلمّس غياب بعض العناصر من ظهور خطوط سود (خطوط الامتصاص). وهكذا، حصل علم الفيزياء على أداة لتحليل توهّج المواد، سواء في المختبر أو في السماء، بطريقة لم تُعرف سابقاً.

وباستعمال «مشعل بونسين» الذي لا يصدر منه سوى ضوء ضئيل، أحمى كيرشوف بعض المواد إلى درجة التوهّج، ثم حلّل طيف الضوء الصادر منها، ولاحظ أن كل عنصر يُعطي طيفاً خاصاً به، فجمعها في جداول متخصصة، وبات مستطاعاً التعرّف إلى المواد من طيفها الضوئي. وبالتعاون مع بونسين، تمكن من تعيين أطياف ضوئية لعناصر لم تكن مُكتشفة آنذاك. وفي ١٠ مايو / أيار ١٨٦٠، أعلنا اكتشاف عنصر «سيزيوم» (كلمة تعني باللاتينية «السماء الزرقاء»). وفي السنة التالية، اكتشفا عنصراً ثانياً سمياه «كريستيند روبيديوم» (باللاتينية: أحمر).

ويتمثّل الاكتشاف الأهم الذي حقّقه كيرشوف في توصّله إلى ملاحظة أن انتقال

الضوء في الوسط الغازي، يترافق مع طيف تحلّ فيه خطوط الامتصاص في الأمكنة التي تشغلها طبيعياً خطوط البثّ التي يعطيها ذلك الغاز في حال التوهّج. ومكّنته تلك الملاحظة من إثبات وجود الصوديوم في الغلاف الجوي للشمس، اعتماداً على خطوط الامتصاص في الطيف الضوئي. وباستعمال هذه الطريقة، تمكن علماء آخرون من إثبات وجود مواد مما تحويه الأرض في غلاف الشمس الجوي.

ثمة شخص لم تُعجبه اكتشافات كيرشوف: مدير المصرف الذي يتعامل معه. وسأله: «ماذا يفيدك أن تكتشف الذهب في الشمس، إن لم تُحضره إلى الأرض؟» ولاحقاً، انتقم كيرشوف لنفسه من هذه السخرية المُرّة. فحضر إلى المصرف مصطحباً حقيبة ملأى ذهباً منحته إياه الحكومة البريطانية مكافأة على أعماله. وأشار إلى تلك الحقيبة قائلاً للمدير: «خذه ذهباً من الشمس».

اكتشاف الهيليوم: أحرز علم تحليل الطيف لضوء الأجرام السماوية انتصاراً مُدوياً في العام ١٨٦٨، باكتشاف عنصر في الغلاف الجوي للشمس، لم يكن معروفاً على الأرض. قاد الانتصار عالمٌ انكليزي في فيزياء الفضاء اسمه نورمان لوكاير، الذي عمل موظفاً في «مكتب الحرب البريطاني».

انشغل لوكاير في درس ظاهرة فلكية لافتة للنظر: أذرع الشمس، وهي شواظ مستعرة تندلع من الشمس وتحيط بها كالإكليل.

وفي أكتوبر من العام ١٨٦٨، لاحظ خطّاً أصفر في طيف ضوء الشمس، منعزلاً عن خطوط عنصر الصوديوم في الغلاف الجوي لذلك النجم. ولم يتطابق مع طيف أي عنصر معروف. واستنتج أن الخط يشير إلى مادة لم تُكتشف بعد. وسمّاها الهيليوم، اشتقاقاً من كلمة إغريقية تعني الشمس. ورفض علماء الكيمياء في عصره تلك الفكرة. وبعد سبع وعشرين سنة، نجح البروفسور وليام رامسي، أستاذ الكيمياء في جامعة لندن، في عزل الغاز الذي وصفه لوكاير عن عينة من مادة نووية مُشعّة اسمها «كليفايت». وأقرّ العالم بفضل لوكاير الذي عاش ليرى رأيه منتصراً.

لم يكن رامسي أول من لاحظ طيف الهيليوم في المختبر. فقد سبقه إلى ذلك الجيولوجي الأميركي دبليو هيلبراند، بأربع سنوات، لكنه ظن أن الأمر يرجع إلى خلل في آلاته!

ميشال فراداي: في العام ١٨١٢، بعد عشر سنوات من شروع همفري دافي في إلقاء محاضرات في «المؤسسة الملكية»، حصل مُتدرّب في إحدى مكتبات المدينة على تذكرة لحضور أربع منها. وحينذاك، لم يكن ميشال فراداي قد تجاوز العشرين من العمر. وترعرع بين عشرة أولاد لحدَّاد يعمل في قرية «نيونغتون»، في ضواحي لندن. لم ينل سوى نصيب ضئيل من التعليم المدرسي. وعند بلوغه الثالثة عشرة، شرع في التدرّب في تلك المكتبة. وقرأ الكتب بنهم. ونجح في اكتساب معرفة جيدة بالعلوم. وحصل على تلك التذكرة هدية من صديق لوالده سُرّ بسعة اطلاع الشاب على العلوم.

وغيّرت تلك المحاضرات الأربع حياة فراداي كُلياً. وبعد بضعة أشهر، عانى دافي عمى موقّتاً بسبب خطأ في إحدى تجاربه. واختير فراداي مساعداً موقتاً له، مع بقائه عاملاً في المكتبة. وعند نهاية ذلك التعيين الموقّت، كتب فراداي إلى دافي طالباً عملاً دائماً، ودعم طلبه بإيراد ملاحظات من المحاضرات الأربع التي حضرها في وقت مبكّر من ذلك العام. وخدمه الحظ. فقد حصل خلاف مفاجىء بين دافي وأحد مساعديه، فصرفه من الخدمة ثم قبل طلب فراداي. لم يكن ذلك المنصب بالمهم. وتضمن الكثير من العمل اليدوي المضني. وأدّى فراداي عمله ببراعة.

وتدرّج لِيُشارك في تجارب علمية مُعقّدة في مجال الكيمياء. وبعد فترة وجيزة، نال دافي لقب سير همفري. وتزوّج أرملة ثرية. واستقال من إلقاء المحاضرات.

ورافق فراداي الزوجين في رحلة مديدة إلى القارة الأوروبية، بصفته مُساعداً علمياً ورفيقاً أميناً. وعرّضته الرحلة لكثير من الإهانة، خصوصاً على يدي زوجة دافي الشابة. وفي المقابل، فقد أعطته الرحلة ما يُشبه التعليم الجامعي، إذ أتقن خلالها اللغتين الفرنسية والإيطالية. كما عرّفته إلى جهابذة العلم في أوروبا. وضمّت قائمة هؤلاء الكيمياوي

الفرنسي غي لوساك، والفيزيائي الفرنسي أمبير، والإيطالي العجوز (٧٠ عاماً) أليساندرو فولتا، الذين كانوا في قمة شهرتهم.

فراداي والتحليل الكهربائي: مقارنة بالكثير من عظماء العلم الذين أنجزوا أهم أعمالهم في ميعة صباهم وعنفوان شبابهم، فإن فراداي يبدو كعدّاء بطيء ومثابر. وهو يُعدّ راهناً بين صفوة علماء القرن التاسع عشر، وأحد أعظم الفيزيائيين في التاريخ. ولو أنه توفي في الثلاثين من العمر، لما ذُكر اسمه، لأنه لما يكن قد أنجز شيئاً يُعتد به. فقد توصل إلى التعليم الجامعي متأخّراً. ولم يتوصل البتة إلى التمكّن من الرياضيات التي تميل لمصاحبة العقول الشابة، فظلّت علماً مستغلقاً عليه. وعوّض من نقص دربته في الرياضيات، بتوظيف طاقته في ملاحظة الظواهر الطبيعية بدأب وصبر. وتبدت لديه موهبة في النظر إلى تلك الظواهر وكأنها حوادث يعيشها ويروي عنها. وقادته تلك الموهبة إلى تحقيق إنجازات علمية أساسية.

في الشهور التي تلت عودته إلى «المؤسسة الملكية»، حقق فراداي انتصاره الأول، حين ابتكر وسيلة لتسييل غازات مثل الكلورين وثاني أوكسيد الكاربون، بتعريضها للضغط. وبعد سنتين، توصّل إلى اكتشاف مهم في علم الكيمياء الحيوية باكتشافه البنزين، المُركّب الذي لعب لاحقاً دوراً محورياً في تفسير التركيب الجزيئي للمركّبات العضوية.

وفي العام ١٨٢٥، عُيّن مديراً لمختبر «المؤسسة الملكية». وأطلق برنامج أبحاث عن علم الكيمياء الكهربائية، الذي يُعتبر دافي من أبرز رواده. وسبق لدافي التوصّل إلى استخلاص بعض المعادن عبر تمرير تيار كهربائي في السوائل المذابة فيها. وسمّى فراداي تلك العملية «تحليلاً كهربائياً». وأطلق على الأسلاك التي يمر عبرها التيار اسم «أقطاب كهربائية». وفي العام ١٨٣٢، استنبط وصاغ فراداي قوانين التحليل الكهربائي التي أرست العلاقة بين الكهرباء والعمليات الكيمياوية، عبر معادلات كميّة دقيقة.

الكهرباء والمغناطيس: في غمرة بحوثه عن العلاقة بين الكهرباء والكيمياء، كرّس فراداي نفسه أيضاً للنظر في العلاقة بين الكهرباء والمغناطيس. ويرجع اهتمامه بهذا الموضوع إلى سني مراهقته، حين قرأ مقالاً في «الموسوعة البريطانية» ألهمه صنع عدد من الآلات الكهربائية، ضمّت بطارية فولتا التي وصفها أليساندرو فولتا في العام ١٨٠٠.

في السنوات المبكرة من القرن التاسع عشر، دار في خلد كثير من العلماء أن ثمة علاقة بين الكهرباء، المُكتشفة حديثاً، والقوى المغناطيسية التي يألفونها جيداً. وفي العام ١٨٢٠، أثار عالم فيزياء دنماركي، اسمه هانز كريستيان أورستيد (٤٢ سنة)، نقاشاً حاراً عن العلاقة بين الأمرين. ووصف تجربة كرّرها كثيراً أمام تلامذته، ترتكز على ملاحظة ما يحدث عندما تُقرّب بوصلة من سلك كهرباء. درّس أورستيد الفيزياء والكيمياء في جامعة كوبنهاغن. ونُظر إليه كعالم لديه مواهب مُتعددة. وعرف عنه إيمانه بوحدة القوانين الأساسية للطبيعة، مما شجّعه على استكشاف الروابط بين الكهرباء والضوء والقوى المغناطيسية، مُعتقداً بأنها في الأساس ذات طبيعة كهربائية. وفي التجربة موضع النقاش، أظهر أن للكهرباء القدرة على حرف الإبرة المغناطيسية في البوصلة، وعند قلب اتجاه التيار الكهربائي، تنحرف الإبرة في الاتجاه المُعاكس. ونشرت تلك النتائج، فأحدثت صدمة عامة. وعند سماعه تجربة أورستيد، اندفع فراداي لتنفيذ برنامج بحوث لسبر طبيعة العلاقة بين الكهرباء والمغناطيس. ووضع مخططاً لتجربة يُلفّ فيها سلك معدن متحرّك ليحوط بمغناطيس ثابت، وكذلك يوضع مغناطيس متحرّك في مركز دائرة يؤلفها سلك ثابت. وعندما مرّر تيار كهرباء، دار المغناطيس المتحرّك داخل دائرة السلك الثابت، كما دار السلك المتحرّك حول المغناطيس الثابت. وفي خطوة تالية، حاول فراداي أن ينفذ تجربة أورستيد بصورة معكوسة. فقد استخدم أورستيد تيّار الكهرباء ليصنع جذباً مغناطيسياً. وجرّب فراداي العكس: استخدام المغناطيس لتوليد تيار كهرباء. ونجح. وصنع المولّد الكهربائي الأول تاريخياً.

محاضرات عيد الميلاد: لم يُرزق فراداي أطفالاً لطالما اشتهاهم. وفي العام ١٨٢٦، أعلن تخصيصه ست محاضرات للنقاش مع الأطفال أثناء فترة الميلاد. وحققت تلك المحاضرات نجاحاً كبيراً، فكانت مستهل تقليد ما زال سارياً إلى اليوم. ومالت تلك المُحاضرات إلى تقديم أحدث الأفكار العلمية إلى جمهور لا ينقصه الذكاء، وبصحبة كوكبة من العلماء، بحيث يستمتع الحاضرون بالإثارة التي تُرافق الكشف العلمي. وسجّلت إحدى تلك المحاضرات، وعنوانها «تاريخ الشمعة»، نجاحاً متميّزاً بحيث أُرغم فراداي على تكرارها في فترات منتظمة. وباتت من التُحف الكلاسيكية في تعميم العلم.

في السنة التالية، مُنح فراداي منصب أستاذ في جامعة لندن المُنشأة حديثاً. ولم يقبل بالمنصب اعتزازاً منه بما قدمته إليه «المؤسسة الملكية». وأُنعم عليه بلقب فارس، لكنه أحجم عن قبوله أيضاً. وعندما مات في العام ١٨٦٧، دُفن في قبر بسيط في مدفن «هايغيت».

حقول القوة: قادت تجارب فراداي في الكهرباء والمغناطيس إلى صنع مولّدات الكهرباء ومُحرّكاتها. لقد وُلد العالم المُعاصر بفضل تلك الأشياء حقاً. وفي المقابل، فمن الخطأ الحُكم على أهمية العلم انطلاقاً من تقويم التكنولوجيا التي ساعد في ابتكارها. إن الطريق، من التجارب في الطبقة السفلى من «المؤسسة الملكية» إلى محطات الكهرباء الحديثة والقطارات السريعة، لم تكن مباشرة ولا مستقيمة. وتعرّجت، وتوقفت في محطات أساسية، حتى إن تقدّمها اعتمد على جهود هائلة من علماء كثر.

لم يتمثّل إسهام فراداي الحاسم في علم الكهرباء المغناطيسية في الأدوات البسيطة التي صنعها، وإنما في المفاهيم التي برهنت عليها، وعكست عمق رؤيته العلمية. لم يكتف فراداي بإظهار العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية، بل سعى لفهم القوى التي تقف خلفهما. وقبله، برهن عالم الفيزياء الفرنسي أندريه ماري أمبير أن السلك الذي يمرّ به تيار كهرباء، يُصدر قوى مغناطيسية. وفي تجربة لافتة للنظر، نشر فراداي بُرادة حديد

دقيقة فوق ورقة، ثم جعلها فوق مغناطيس. وضرب طرفها برفق. ومالت البُرادة إلى التجمع عند طرفيِ الورقة، إضافة إلى توزيع نفسها في خطوط دائرية تتقاطع عند طرفي المغناطيس أيضاً. وعبر قدرة فاراداي على تقديم الحقائق العلمية وكأنها حوادث مرئية، اعتبر تلك الخطوط مؤشراً إلى وجود حقول قوة، تُرغمها على التوزّع في ذلك النسق المُحدّد.

كذلك تراءى له أن تلك القوة تتصرف بالانسجام مع قوانين نيوتن عن الجاذبية، وهي بالتالي منتشرة في الكون أيضاً. ولم ترق استنتاجاته الجامحة بعض معاصريه.

ولاحقاً، استطاع عالم فيزياء شاب، جايمس كلارك ماكسويل، أن يعبّر عن رؤى فاراداي بمعادلات رياضية مُنضبطة. وعلى يدَي ماكسويل شهدت الفيزياء أعظم ثوراتها، منذ كتاب «برينكيبيا» لنيوتن.

فاراداي ممثلاً استعراضياً: لم يول فاراداي من الاهتمام بالتكريم العام سوى أقلّه. وللمفارقة، فإن موهبته في الرؤية، ورغبته في مشاركة آخرين دهشة الكشف العلمي، جعل منه أنجح مُحاضر عام، على غرار ما كانه دافي. وبطريقته الهادئة، بات فاراداي ممثلاً استعراضياً. وأظهر موهبة استثنائية في تقريب العلم للعامة. وللمقارنة، تجنّب تشارلز داروين بإصرار المناسبات العامة، وكأنها وباء، وكثيراً ما أضنت جسده. لكنه واظب على حضور محاضرات فاراداي التي انجذب إليها الروائي الإنكليزي الشهير تشارلز ديكنز.



بُرادة الحديد ترتصف عبر خطوط حقل القوة

الشكل ١٢: حقول القوة التي تحيط بالمغناطيس، كما رسمها فاراداي.

وتُعطي محاضرته التوضيحية عن التوصيل الكهربائي، مثالاً عن قدرته على السيطرة على ألباب مستمعيه. وأحضر فيها كوخاً خشبياً على هيئة مُكعّب ضلعه ٣,٦ أمتار، ثم غطّاه بأوراق وأسلاك معدنية.

وفي اللحظة الملائمة، يدخل إلى الكوخ، مُشيراً إلى معاونه بأن يشغّل تياراً كهربائياً بقوة مئة ألف فولت. وبذا، تتطاير الشرارات في كل اتجاه، آخذةً بأنفاس الحاضرين، وفراداي قابع بأمان خلف الستار الخشب.

أوين والديناصور: الاختصاصي في علم الحيوان الشاب ريتشارد أوين عاصر مايكل فراداي. وذاعت شهرته في منتصف القرن التاسع عشر في الأوساط العلمية الإنكليزية. ومن أبرز إنجازاته تأسيس «متحف لندن للتاريخ الطبيعي». ولسوء الحظ، فقد اتّخذ موقفاً مُعارضاً من نظريات داروين التي صعد نجمها لاحقاً، فظهر أوين، في عيون الجيل الشاب الذي تلاه، وكأنه خارج سياق التطوّر العلمي. وبالنسبة إلى هؤلاء، بدا أوين وكأنه من «الحرس القديم» المتصلّب الرأي.

ويؤثَر لأوين أن اخترع كلمة ديناصور التي استخدمها لوصف فصيلة، لم تكن معروفة من الحيوانات. وعرّف خصائصها بناء على بقايا مُتحجِّرة لثلاث منها. واكتشفت تلك المتحجرات في صخور كلسية في جنوب إنكلترا. اشتقت كلمة «ديناصور» من كلمتين إغريقيتين تعنيان «السُحلية المريعة». امتلكت كلمة «مُريع» رنّة قوية في العام ١٨٤٢، وعَنَت «المُشعّ إرهاباً». واختار أوين اسم ديناصور ليُشدد على القدرات الهائلة لتلك المخلوقات. وبسبب معارضته نظرية التطوّر، قصد من الاسم أيضاً ألا يتبنّى وجهة تطورية تميّز بين كائنات «عليا» و«دنيا». ولكان دُهش لو أنه عاش ورأى تلك الكائنات وقد تحوّلت دمى وشخصيات لأفلام الكارتون.

رأى أوين أن تلك الديناصورات تُمثّل مجموعة لم يكن يعرفها العلم في زمانه. وأكّدت الاكتشافات اللاحقة صدق استنتاجاته، ونال مكانة يستحقها في عالم البيولوجيا.

انقراض الديناصور: هيْمن الديناصور على الأشكال الحيّة في الكرّة الأرضية مدة تزيد على مئة مليون عام، بين ١٨٠ مليوناً و٦٥ مليون سنة خلت. وعاش زمناً كانت فيه قارات العالم متّصلة جغرافياً، مُشكّلة قطعة هائلة من اليابسة. ولذا، عُثر على بقايا الديناصور في كل مكان. دلّ معظم ما عُثر عليه من بقايا إلى حيوانات كبيرة الحجم، وبعضها ضخم جداً، بل إن مجموعة منها كانت هائلة الضخامة. من المُسلم به أن الديناصور أضخم حيوان شهدته الأرض. ولم تكن كل الديناصورات من آكلات اللحوم. واقتات قسم يعدّ أضخمها حجماً بالأعشاب. ثم «اختفت» عن سطح الأرض، بالمعنى الجيولوجي. والأحرى أنها لم تتبخر بين ليلة وضحاها. ولكن، بمقياس التاريخ الجيولوجي، انقرض الديناصور بطريقة سريعة، واختفى في نهاية العصر الطبشوري وبداية العصر الثَّلي (الترابي).

وحتى ثمانينات القرن العشرين، عُدَّ انقراض الديناصور لُغزاً علمياً. ففي مطلع القرن العشرين، لم يهتم بذلك الأمر سوى ثلاثة من الألمان. وفي خمسينات القرن عينه، اهتمّ علماء في بقاع كثيرة من العالم بذلك الشأن. وفي غياب الأدلة الحاسمة، جاءت التفسيرات الأولى ضعيفة. فقد رأى بعضهم أن حجم الديناصور تضخّم بشدة، فناءت به قدماه، أو ربما عقله.

وخمّن آخرون أن انقراضه المُفاجئ إنما حدث نتيجة تغيُّر مُفاجئ في مناخ الأرض، مثل الهبوط الحاد في درجة الحرارة عالمياً. وذهب بعضهم إلى القول إن الديناصور فني لأن الحيوانات اللبونة الأصغر حجماً أكلت بيوضه.

وفي العام ١٩٧٧، قاد عالِم في الجيولوجيا من جامعة كاليفورنيا، والتر ألفاريز، بمساعدة والده الفيزيائي لويس ألفاريز، بعثة جيولوجية لمسح الصخور قرب مدينة «غيبو» وسط إيطاليا. وفي صخور ترجع إلى آخر العصر الطبشوري وبدء العصر الثَّلي (الترابي)، عثر العلماء على كميات كبيرة من عنصر الـ«إيريديوم».

ويندر ذلك العنصر في الكرة الأرضية، لكنه يتوافر بكميات كبيرة في الشُهُب.

وعنى ذلك أيضاً إمكان العثور على كميات أخرى من صخور تحوي عنصر

«إيريديوم». وقاد ذلك آل ألفاريز إلى القول إن تلك المنطقة شهدت تصادماً بين الأرض وأحد النيازك. وذهبا للاعتقاد بأن ما عُثر عليه في «غيبو» ربما نجم عن ارتطام بنيزك يزيد قطره على ١٠ كيلومترات، مما يولّد طاقة تفوق مجموعة من قنابل ذرية. وقدّرا أن ذلك الاصطدام ربما أثار، حينذاك، غيوماً هائلة من غبار حجبت وجه الشمس وحرارتها مدة تزيد على السنة، فدخلت الأرض نتيجة ذلك في «شتاء ذري» مُفاجئ، مع نتائج كارثية انعكست على الكائنات التي عاشت عليها. وفي السنوات اللاحقة، عثر على أحجار تحوي عنصر «إيريديوم» في أكثر من ١٥٠ موقعاً منتشراً في أنحاء العالم. ودوماً، وجدت تلك الصخور في مناطق ترجع إلى نهاية العصر الطبشوري وبداية العصر الثّلي (الترابي).

وفي المقابل، ثار السؤال الآتي: إن حدث مثل ذلك الارتطام الهائل، فأين الفجوة التي حفرها في الأرض؟ ربما كانت في قاع المحيط، وفي تلك الحال لن يُعثر عليها أبداً. وفي العام ١٩٨١، خاض عالما جيولوجيا غمار أبحاث مُكثّفة عن فالق كبير في ولاية «شيكسولوب» في شبه جزيرة «يوكاتان» بالمكسيك، سعياً وراء النفط. ولم ينالا مردوداً إيجابياً عن ذلك الجهد. وفي المقابل، تكثّفت الأدلّة عن حدوث فالق «شيكسولوب» في الفترة التي ترجع إلى الحدّ بين نهاية العصر الطبشوري وبداية العصر الثّلي (الترابي)، كما سبق أن خمّن آل ألفاريز.

ويشيع القول راهناً أن الارتطام الكوني في «شيكسولوب» لعب دوراً مؤثّراً، إن لم يكن حاسماً، في الفناء الجماعي لعدد من الكائنات على الكرة الأرضية، سواء في البر أم في البحر. كما يسود اعتقاد أن الارتطام حدث قبل نحو ٦٥ مليون سنة. لم يختف الديناصور وحده. انقرضت أيضاً مجموعات من الحيوانات والنباتات التي ملأت الأرض ملايين السنين قبله، بما في ذلك بعض الحيوانات اللبونة والنباتات المزهرة.

ويُعتقد أيضاً أن هذه الانقراضات التي حدثت بين الحقبتين الطبشورية والثليّة، شكّلت رابع موجة من انقراضات مماثلة، خلال الأعوام الخمسمئة الغابرة. ومن المحتمل ألا تكون الأخيرة!

الحيوانات الأثقل براً وبحراً: لا جدال في أن النوع الأثقل بين الديناصورات هو أيضاً الأثقل بين حيوانات الأرض في البر والبحر. ويظهر الأمر بوضوح عند مقارنته بأنواع الحيوانات الحيّة راهناً في الكرة الأرضية. ويُعتقد أن طول النوع المسمّى «ديبلودوكوس» بلغ ٣٠ متراً.

وللمقارنة، فقد بلغ طول أثقل حيوان معروف، وهو فيل أفريقي صِيْدَ في أنغولا في العام ١٩٥٥، نحو أربعة أمتار، في حين وصل وزنه إلى اثني عشر طناً. ولنتذكر أن الحيوانات المائية تصل إلى أوزان هائلة. فمثلاً، يفوق وزن الحوت الأزرق الذي يعيش في محيطاتنا راهناً ١٥٠ طناً!

جايمس كلارك ماكسويل: يعرف العالم أسماء آينشتاين وداروين ونيوتن. وتبقى أسماء كثير من العلماء المُبرّزين مجهولة للجمهور العام، رغم تحقيقهم إنجازات لا تقل عمّا صنعه أصحاب الشهرة الذائعة.

ويصف ذلك حال عالم الفيزياء الاسكتلندي جايمس كلارك ماكسويل. ويعدّه العلماء، وخصوصاً اختصاصيو الفيزياء، أحد أكثر العقول نباهة وذكاء في تاريخ العلم. ويبقى اسمه مغموراً في الضباب خارج الدوائر العلمية.

وُلد في أدنبره في العام ١٨٣١. ورغم وفاة والده قبل بلوغه الثامنة، فقد عاش طفولة سعيدة. ولمع ذكاؤه مُبكّراً، وخصوصاً في علم الرياضيات. ولدى بلوغه الخامسة عشرة كتب بحثاً في الرياضيات لـ«الجمعية الملكية» في أدنبره، فأدهش مستواها المتقدم من قرأها من العلماء. وفي السنة التالية، جمعته المصادفة الطيبة مع عالم الفيزياء وليام نيكول (٧٠ سنة) الذي سكن أدنبره أيضاً. وبرع نيكول في استعمال البلورات الزجاجية لمعرفة طبيعة الضوء وسلوكه. وخاض المراهق ماكسويل سجالات مع العالم العجوز، الأمر الذي حفر حبّ الفيزياء في قلب الشاب، وخصوصاً ما تعلق بالضوء والأنواع الأخرى من الأشعة.

درس ماكسويل الرياضيات في جامعة كامبريدج. وفي سنوات الدراسة، قرأ كتاب فاراداي «بحوث تجريبية في الكهرباء»، فأثّر في مجرى حياته. وقبل إتمام دراسته الجامعية،

قدّم إسهاماً أساسياً في علم الكهرباء بنشره بحثاً عنوانه «عن خطوط القوة عند فراداي». وفي العام ١٨٥٦، حين بلغ الخامسة والعشرين، عُيّن بروفسوراً في «كلية ماريسكال» في أبردين. وبحلول العام ١٨٦٠، انتقل إلى «كلية كنغز» في لندن، بوصفه بروفسوراً في الفلسفة الطبيعية والفلك. وحينذاك، حقق إسهامه الأساسي في تقدّم علم الفيزياء.

الحرارة هي حركة: في العام ١٨٦٠، أنجز عالم الفيزياء الاسكتلندي جايمس ماكسويل ورقة علمية عن سلوك الغازات، وخصوصاً عن أثر الحرارة في حركتها. ولم يتوافر فهم علمي مُحدّد لظاهرة الحرارة، بل استمرت أذهان كثيرة في قبول الفكرة القائلة إن سائلاً من نوع خاص يسري من الأجسام الساخنة إلى الباردة.

درس ماكسويل الطريقة التي تتصرف بها الجسيمات السريعة الحركة. وبفضل عبقريته في الرياضيات، استطاع صوغ معادلات إحصائية تُعبّر عن تلك الحركة. وتوصّل إلى اختراع معادلة رياضية تصف السرعات المختلفة التي تسير فيها جسيمات الغاز، عند درجة حرارة مُعيّنة. وبيّنت المعادلة أن بعض تلك الجسيمات يسير بسرعة عالية، وبعضها ببطء. وتتحرك غالبيتها بسرعة متوسطة، تزداد كلما ارتفعت درجة الحرارة. واتضح له أن درجة الحرارة، بل السخونة نفسها، تنتج من حركة الجسيمات، وأن ذلك الأمر ينطبق على السوائل والغازات سواء بسواء. لم يكن معروفاً أن السخونة تسري من مكان إلى آخر، بل إن الحرارة تعبير عن مدى حركة جسيمات المادة.

معادلات ماكسويل: في العام ١٨٧١، قبل العالم الاسكتلندي جايمس ماكسويل، بتردد، منصب بروفسور للفيزياء في جامعة كامبريدج. بدا وكأن المنصب يُناسب ميوله العلمية. فقد شغف بالنظريات العلمية أكثر مما شغف بالتجارب، حتى أن محاضراته في الرياضيات لم تكن مفهومة لغير نخبة من طلابه، نظراً إلى قوة منطقه وتماسكه وتعقيده. وللمفارقة، فقد حفلت الفترة التي شغل فيها ذلك المنصب بالإنجازات التي حفرت اسمه

في تاريخ العلم، كما ألهمت عباقرة من طراز آينشتاين الذي تبنّاها، وتابع مسارها، فوصل إلى نظرياته الذائعة الصيت.

استطاعت عبقرية فاراداي أن ترسم الكهرباء والمغناطيس على هيئة حقول غير مرئية، تمتدّ عبر الفضاء. ولكن ماكسويل هو من استطاع إعطاء أفكار فاراداي صورة علمية، إذ صاغها عبر معادلات رياضية، مما مكّن العلماء من التعامل معها. وأثبت ماكسويل أن القوتين الكهربائية والمغناطيسية ليستا مستقلتين.

وفي العام ١٨٦٤، نشر ورقة بحثية عنوانها «نظرية ديناميكية عن الحقل الكهرومغناطيسي». وشرح فيها معادلات بسيطة، لا تزال تُعرف حتى يومنا باسم معادلات ماكسويل. وتُفصّل العلاقة بين الكهرباء والمغناطيس. وكثيراً ما يوصف ماكسويل بأنه العالم الذي وحّد القوتين الكهربائية والمغناطيسية، مبيّناً أنهما يسيران معاً في موجات كهرومغناطيسية. وبرهن أن تلك الموجات تسير بسرعة الضوء. ودعا للنظر إلى الضوء أيضاً باعتباره جزءاً من الطيف الواسع لتلك الموجات عينها، اعتقاداً منه بأن الطيف الكهرومغناطيسي يتضمّن موجات من أنواع أخرى، إضافة إلى الكهرباء والمغناطيس والضوء (راجع الشكل ٩). وفي العام ١٨٧٣، توّج أعماله علمياً بنشره كتاب «بحث عن الكهرباء والمغناطيس»، فكأنه نحت بيديه تمثالاً هائلاً كشاهد على عبقريته العلمية.

الإشعاع ذو الموجة الطويلة: توفي ماكسويل في العام ١٨٧٩، قبل أن يبلغ الخمسين، بل قبل أن يشاهد بعينيه انتصار أفكاره. ولو أنه عاش عقداً آخر، لعرف باكتشاف الإشعاع الذي يزيد طول موجته بمقدار مليون ضعف على الضوء المرئي، أي أشعة الراديو ذات الموجة الطويلة. واكتشفها الألماني هينرتش هيرتز الذي أظهر أيضاً أنها تسافر بسرعة الضوء. كما بيّن أن موجات الراديو تُعكس وتتكسّر كالضوء تماماً.

ويكتظ عالمنا راهناً بأنواع من الأشعة الكهرومغناطيسية، بحسب ما خمّن ماكسويل،

مثل الأشعة تحت الحمراء، وأشعة اكس، وموجات الراديو، وأشعة غاما، وموجات الميكروويف وغيرها. ويتعامل العلماء معها عبر معادلات ماكسويل.

تراتبية المواد: بين وقت وآخر، يظهر عالِمٌ يدعو الناس إلى طريقة جديدة في التفكير. وعندما يحدث هذا، يُشار إلى ذلك التغيّر بأن العلم سلك نموذجاً جديداً. وتتخذ مناهج التفكير في العالم الطبيعي مساراً مختلفاً. ويمكن تلمّس أثر النموذج في علم الكيمياء، على نحو واضح، بتأمل الجدول الدوري للعناصر، الذي يرجع الفضل في ابتكاره إلى العالم الروسي ديمتري ماندلييف.

وُلِدَ ماندلييف في توبولسك، غرب سيبيريا، في العام ١٨٣٤، فكان أصغر إخوته الأربعة عشر. عمل والده مُدير مدرسة، لكنه أُصيب بالعمى في السنة التي وُلد فيها ماندلييف. وكانت أُمه ابنة لمالك مصنع، أعادت تشغيله لكي تُعيل أسرتها. ولم يُبد ديمتري الصغير حماسة للمدرسة، ولكنه أحب العلم لأنه أُعجب بأستاذه. وعند بلوغ ماندلييف الثالثة عشرة، توفي والده، واحترق مصنع أمه التي أصرّت على الاستمرار في تعليم ابنها الصغير. وقطعت رحلة طولها ألفا كيلومتر لتصل إلى موسكو، مع ماندلييف وأخته الكبرى. ورفض الابن دخول الجامعة في موسكو، فسافرت العائلة مسافة ٦٥٠ كيلومتراً قاصدة مدينة سان بطرسبرغ. وهناك، ساعدهم صديق للأب في الحصول على منحة جامعية تُمكن ماندلييف من متابعة دراسته في «المعهد المركزي للتربية»، الملحق بجامعة سان بطرسبرغ.

وبعد سنة، توفيت الأم والأخت، وأُدخل ماندلييف إلى المستشفى ليُعالج من السل. وتوقّع الأطباء أن يعيش سنتين، لكنه نجا وعاش طويلاً.

وبعد فترة طويلة من العلاج في المستشفى، تابع دراسته ليصبح أستاذاً. وصار مُحاضراً بلا أجر في جامعة سان بطرسبرغ. واعتاش من إعطاء دروس خصوصية لبعض التلامذة. وفي سنّه الثانية والعشرين، حصل على منحة للدراسة في الخارج. وسافر إلى باريس أولاً، ثم إلى هايدلبرغ. وهناك، أسعفه الحظ بلقاء العالمين روبرت بونسين

وغوستاف كيرشوف اللذين كانا في غمرة انشغالهما بالتجارب على استخدام تحليل الطيف الضوئي كوسيلة للتعرّف على العناصر الكيمياوية وتركيبتها. في سبتمبر / أيلول من العام ١٨٦٠، سافر إلى بلدة كارلسروه الألمانية للمشاركة في الدورة الأولى لـ«المؤتمر الدولي للكيمياء». وتركزت أعمال هذه الدورة على محاولة حسم النقاش بشأن أفضل طريقة لتحديد وزن العناصر الكيمياوية. وشارك فيها ١٤٠ من أبرز علماء الكيمياء، قدموا آراء كثيرة انطبعت في عقل ماندلييف وأثّرت فيه بشدة.

فرانكلاند وكانيزارو: في العام ١٨٦٠، عانت الكيمياء الغموض. فلنصْفِ قرن مرّ على نظرية دالتون عن الذرّات، اتّخذ كثير من العلماء، وخصوصاً برزيليوس، تلك النظرية أساساً لأعمالهم. ولكن ذلك لم يعن قبولها على نطاق واسع. وظلت الذرّة، باعتبارها المُكوّن الأساسي للكون، موضع خلاف علمي. وحاول عالِم الكيمياء الإنكليزي إدوارد فرانكلين أن يُساهم في حسم ذلك الخلاف. وقد وُلِدَ في لانكشاير في العام ١٨٢٥. وتدرّب كصيدلاني. لكنه ثابر على تعلّم الكيمياء على نفسه، إلى حد الحصول على شهادة الدكتوراه من جامعة «ماربورغ». وعُيّن أستاذاً للكيمياء في كلية «أوينز» في مانشستر.

وفي العام ١٨٥٢، استنبط مفهوم قيمة التكافؤ بالنسبة إلى العناصر الكيمياوية. ويرتكز التكافؤ على فكرة أن لذرّات العنصر الكيمياوي قدرة مُعينة كميّاً على الاتحاد مع العناصر الأخرى، وأن تلك القدرة تُحدّد النسب التي تختلط فيها المواد بعضها ببعض. ومثلاً، تمتلك ذرّة الهيدروجين قيمة تكافؤ تساوي ١ والأوكسجين ٢، فعند اتحادهما، تتفاعل ذرتان من الهيدروجين مع ذرة من الأوكسجين، لتشكيل جزيء من الماء.

وعلى نحو مُشابه، تتحد ذرّتان من الكاربون، وقيمتهما في التكافؤ ٤، مع ذرتين من الأوكسجين تملك كل منهما تكافؤاً مقداره ٢، فيتكوّن ثاني أوكسيد الكاربون.

وما زال مفهوم قيمة التكافؤ يُستخدم إلى اليوم على نطاق واسع، مُثبتاً أنه أداة عملية

يعزّ نظيرها. ولكن العلم لم يتوصل إلى فهم سبب وجود قيمة التكافؤ إلا بعد نصف قرن من اكتشافها.

وتطوّر فهم العناصر الكيمياوية بفضل جهود عالِم آخر: الإيطالي ستانيسلاو كانيزارو. وُلِدَ كانيزارو في أسرة لمحام في مدينة باليرمو، بصقلية. وعاش العديد من التجارب، تضمّنت مدة من النفي في باريس بسبب دوره في الانتفاضة ضد ملك نابولي في العام ١٨٤٨. وعاد لاحقاً إلى إيطاليا ليعمل مُدرّساً جامعياً في الكيمياء في جنوا. وفي العام ١٨٥٨، نشر بحثاً قصيراً رسم فيه حدّاً فاصلاً بين مفهومي الذرّة والجُزيء. وفي العام ١٨٦٠، حاضر في الدورة الأولى لـ«المؤتمر الدولي للكيمياء» في مدينة كارلسروه ليشرح هذا التمييز.

كتاب ماندلييف: أثّرت كلمة كانيزارو في نفس ماندلييف بشدّة. وعاد إلى روسيا مقتنعاً بصحة حجج كانيزارو بأن الطريقة المنطقية لقياس وزن العناصر الكيمياوية تتمثّل في معرفة وزن ذرّاتها. وألهمته تلك الفكرة أبحاثه المستقبلية. وعقب عودته إلى سان بطرسبرغ في العام ١٨٦١، حصل على منصب مدرّس في «المعهد التكنولوجي». واشتُهر بحماسته للأفكار المتقدمة في علم الكيمياء، والتي لم تكن ذائعة في روسيا. واكتشف عدم وجود كتاب عن الكيمياء العضوية (أي تلك الكيمياء التي تتعامل مع المواد الحيّة) باللغة الروسية. ووضع كتاباً عن ذلك العلم، لم يستغرق تأليفه أكثر من شهرين.

وفي العام ١٨٦٦، عندما بلغ الثانية والثلاثين، ارتقى إلى منصب أستاذ الكيمياء في جامعة بطرسبرغ. وانكبّ على تأليف كتاب «مبادئ الكيمياء» الذي ظهر جزؤه الأول في العام ١٨٦٨. ولاحقاً، تُرجم إلى عدد من اللغات، واعتمد مرجعاً في الجيلين التاليين من العلماء. وعندما شرع في كتابة الجزء الثاني، توصّل بأبحاثه إلى اختراق علمي ضمن له شهرة لا تنطفئ.

حلم ماندلييف: في وقت ما، عرف العلم أن ثمة مواداً تشبه بعضها من حيث

الصفات. وسأل الكيمياويون كثيراً عن إمكان جمعها في الصنف عينه، على غرار ما فعله لينايوس في تصنيف الحيوانات.

وفي العام ١٨٦٤، تنبّه كيميائي إنكليزي، جون نيولاندز، إلى أن تصنيف العناصر الكيمياوية بحسب أوزانها الذرّية، يعطي جدولاً ذا طابع من النسق الدوري، مما يعني أن الصفات المُتشابهة تتكرر بعد كل ثماني خانات في ذلك الجدول. وعبّر عن فكرته في صيغة علمية سمّاها «قانون الثمانيات». وعندما أعلن اكتشافه على اختصاصيي الكيمياء، استهزأوا به!

وصل خبر عمل نيولاندز إلى ماندلييف، الذي لم يعجبه أيضاً الطريقة التي صيغ بها ذلك القانون الثمانياتي. وعلى وجه الخصوص، لم ترق له فكرة أن بعض العناصر «قُفِّزت» من خاناتها، لكي يحتفظ القانون بتكراره كل ثماني خانات. وانصرف للعمل على الجزء الثاني من كتابه «مبادئ الكيمياء». وحاول إيجاد ترتيب للعناصر يُظهر العلاقة بينها، لكن بمنأى عمّا تخبّط نيولاندز.

وقد رسخ لدى ماندلييف اقتناع بأن الكيمياء لن تُمسي علماً إنْ لم تتوصل إلى التعرّف إلى الأساس الذي يرتكز عليه عملها، أي العناصر.

وفي الجزء الثاني من كتابه، رتّب ماندلييف العناصر بحسب صفاتها المُشتركة. وبحلول فبراير / شباط من العام ١٨٦٩، أتمّ الفصلين الأولين منه. ولم يتضح له فوراً أي العناصر الكيمياوية ستحلّ تالياً. ووقع أسير هاجس فكرته عن وجود تراتبية ما تنتظم فيها العناصر الكيمياوية كلها، لأنه أحس بأنها صارت في متناول يده من دون أن يلمسها فعلياً. وعمد إلى طريقة أخرى في العمل، فكتب أسماء العناصر المعروفة وأوزانها الذريّة في بطاقات منفصلة. وأخذ يرتّبها ويعيد ترتيبها باستمرار. وجاءته رحلة عاجلة، لكنه شعر بأنه إن لم يتوصّل إلى اكتشاف مبدأ تراتبية العناصر الكيمياوية بسرعة، فقد لا يتعرف اليه البتة. وانقطع إلى بطاقاته ثلاثة أيام بلياليها. وأنهكه نُعاس جارف. وغطّ في نوم عميق، في اليوم الذي يُفترض أن يُسافر فيه. وربما استمر عقله في خلط البطاقات وإعادة ترتيبها، لأنه استيقظ وقد وجد الحل الذي كثيراً ما راوده.

الجدول الدوري: يكمن السرّ في الحلّ الذي صاغه عقل ماندلييف أثناء منامه، وهو أن العناصر الكيمياوية يمكن ترتيبها في صفوف، بحسب وزنها الذريّ، مع وضعها في أعمدة بحسب صفاتها الكيمياوية، مع ترك فراغات حيث بدا أن نسق الترتيب يقتضيها.

نشر ماندلييف اكتشافه في بحث عنوانه «عن العلاقة بين صفات العناصر الكيمياوية ووزنها الذريّ». وضمّنه قانونه عن النسق الدوري للعناصر، ،والذي ينص على ترتيب المواد المعروفة في جدول بحسب وزنها الذري، مما يؤدي إلى:

١ ـ ظهور نسق يتكرر دورياً مع ارتفاع قيمة التكافؤ وانخفاضها. والمعلوم أن التكافؤ يُحدد النسب التي تتحد فيها العناصر بعضها ببعض.

٢ ـ تجمّع العناصر في مجموعات بحسب صفاتها، حيث أن لتلك المجموعات طابعاً تكرارياً أيضاً.

وفي أحد إملاءاته، استطاع جدول ماندلييف الدوري أن يبرهن على وجود ١٧ عنصراً يمكن إعادة ترتيبها بحسب صفاتها الكيمياوية، وهذا يعني أنها أُعطيت أوزاناً ذريّة غير صحيحة. ومن الفراغات المنتشرة في جدوله، استنتج وجود ثلاثة عناصر غير مُكتشفة، واستطاع أن يستنبط الكثير من صفاتها!

جاء ردّ الفعل الأوليّ على الجدول الدوري لماندلييف متحفظاً، كحال رد الفعل على المحاولات التي سبقته لترتيب العناصر الكيمياوية.

ونبّهت إشارته إلى وجود خطأ في تحديد الوزن الذريّ لبعض العناصر، إلى جدّية عمله. وخلال الخمس عشرة سنة التي تلت نشره الجدول الدوريّ، عثر العلماء على المواد الثلاث التي تنبأ بأنها غير مُكتشفة. إذ اكتُشف «الغاليوم» (١٨٧٥) و«السكانديوم» (١٨٧٩) و«الجيرمانيوم» (١٨٨٦). وذُهل العلماء عندما لاحظوا أنها امتلكت الخصائص الكيمياوية التي توقعها جدول ماندلييف الدوريّ. ومع أنه لم يكن أول من فطن إلى الطابع الدوري للعناصر الكيمياوية، استطاع ماندلييف، على عكس سابقيه، أن يُبرهن على وجود قانون منطقي تستند إليه طريقته في ترتيب العناصر وجدولتها.

في العام ١٨٧٦، مع بلوغه الثالثة والأربعين، انفصل عن زوجته الأولى عقب سنوات من

العيش غير الهانئ. ومنعه القانون الروسي الساري حينذاك، من الزواج قبل مرور سبع سنوات.

وفي تلك الأثناء، وقع في حب طالبة جامعية جميلة تدرس الفنون، من أصول قوزاقية. ولم يُطق انتظاراً وتزوّجها. وسرعان ما أُدين بتعدّد الزيجات الذي يحظره القانون الروسي.

ورفض القيصر أن يعاقبه، قائلاً: «يملك ماندلييف زوجتين، لكن روسيا ليس لديها سوى ماندلييف». وسادت السعادة زواجه الثاني. وأنجب ابنتين وابنين. وانصرف بكد إلى أعماله التي أنجزها في مختبر زينته رسوم زوجته لأبطاله: نيوتن وفراداي ولافوازييه.

الفيزياء التي تُحدّد الكيمياء: عُدّل جدول ماندلييف الدوري مراراً منذ ابتكاره. ويُظهر شكله الراهن (الشكل ١٣) تراكم المعرفة العلمية عن العناصر الكيمياوية، منذ ذلك الزمن. ويحوي راهناً ١٠٩ عناصر، في حين حوى الجدول الأصلي ٦٣ عنصراً. ولا يزال يحمل اسمه وفكرته الأساسية، لأنه صنّف المواد استناداً إلى العلاقة الأكثر أهمية بين العناصر (تركيبها الذري)، ولو أن ماندلييف لم يعرف إطلاقاً طريقة تصرّف تلك الذرّات.

تحتل العناصر الطبيعية خانات في الجدول بدءاً بالهيدروجين (العنصر ١) إلى اليورانيوم (العنصر ٩٢). وأما العناصر التي اخترعها الإنسان، فتملأ بقية الجدول.

وتتكوّن العناصر من ذرّات ذات جسيمات أساسية: البروتون والنيوترون والإلكترون. وتتركّب الذرّة من نواة تؤلفها جسيمات البروتون والنيوترون. وتدور الإلكترونات في مدارات حول النواة، كمثل دوران الكواكب السيّارة حول الشمس، فلا يملأ الفراغ بينهما شيء. وتعطي النواة الذرّة معظم وزنها، مثلما تُشكل الشمس معظم وزن النظام الشمسي، وكلاهما يفوق توابعه وزناً بأضعاف كثيرة.

ولذا، فبحسب عدد النيوترونات والبروتونات، يتحدد وزن الذرّة (وكذلك عدد الإلكترونات فيها). ويكفي القول إن البروتون يفوق الإلكترون وزناً بنحو ١٨٣٦ ضعفاً.



الشكل ١٣: الجدول الدوري. الجدول الدوري راهناً. تُظهر الأرقام الرقم الذري للعناصر، الذي يناسب عدد البروتونات في نواة الذرّة. يزداد الوزن الذري مع ارتفاع الرقم الذرّي. يعتمد وزن الذرّة فعلياً على عدد البروتونات والنيوترونات في النواة. تُدعى الأعمدة مجموعات، وتضم عناصر ذات صفات كيمياوية متشابهة. وتتناسب تلك الصفات مع عدد الإلكترونات التي تدور حول النواة، مما يُساوي عدد البروتونات. أُعطيَت العناصر ١٠٤ ـ ١٠٩ الأسماء والصفات التي منحها «الاتحاد الدولي للكيمياء النظرية والتطبيقية».

ويُحدد عدد الإلكترونات وترتيب مداراتها، الصفات الكيمياوية للعناصر، لأن الطريقة التي تتحد بها إلكترونات عنصر مع آخر تُحدد صفاتها تفاعلهما كيمياوياً.

تدلّ أرقام الجدول الدوريّ على الرقم الذرّي لكل عنصر، والذي يجسّد عدد البروتونات في نواة الذرّة. كما يتناسب مع عدد الإلكترونات التي تدور حول تلك النواة، لأن الذرّة تحوي أعداداً متساوية من البروتونات والإلكترونات. تتشكّل هذه الأخيرة من جسيمات شحنتها الكهربائية سالبة، وتعادل الشحنة الموجبة في البروتونات. ويعتمد الوزن الذري للعناصر على العدد الكلّي للبروتونات والنيوترونات في نواة الذرّة. ويميل الوزن إلى الارتفاع مع زيادة الرقم الذري، لكن ثمة موادَّ تملك أكثر من شكل، يُسمّى كلٌّ منها نظيراً. فمثلاً، يأتي اليورانيوم الطبيعي (رقمه الذريّ ٩٢) في نظيرين: يورانيوم ٢٣٥ (يحوي ٩٢ بروتون و١٤٣ نيوترون، ووزنه الذريّ ٢٣٥)، ويورانيوم ٢٣٨ (يضم ٩٢ بروتون و١٤٦ نيوترون، ووزنه الذريّ ٢٣٨).

وتساوي وحدة الوزن الذري وزن ذرّة من الهيدروجين.

ويُشار إلى الأعمدة باسم «مجموعات». وتتجمّع فيها عائلات من العناصر التي تتمتّع بصفات متشابهة. وبذا، يحتلّ الجانب الأيمن من الجدول الدوري الغازات «النبيلة» أو «الخاملة»: الهيليوم والنيون وغيرهما، لأنها تتفاعل ببطء مع العناصر الأخرى. وقد دُعيت أيضاً باسم الغازات «الخاملة». ويفيد ذلك، مثلاً، صناعة المناطيد التي تُملأ راهناً بالهيليوم (الخامل والآمن) بدل الهيدروجين السريع الاشتعال، كما يُستعمل غاز «أرجون» في ملء مصابيح النيون.

ما الذي يجعل السماء زرقاء؟: في العام ١٨٥٤، عندما ترأس ميشال فراداي «المؤسسة الملكية»، عُيّن شاب إيرلندي، جون تايندل، أستاذاً في تلك المؤسسة. وأثبت أنه عالِم بالسليقة.

تركّز اهتمام تايندل على الغازات، وطرق نقلها للحرارة. كما توصّل إلى اكتشاف مهم عن سلوك الضوء أثناء عبوره وسطاً غازياً.

وكنتيجة جانبية لأبحاثه، عثر على تفسير لتسيّد اللون الأزرق السماء. وقبله، عرف العلماء أن الأوكسجين المُذاب أزرق اللون.

وظُنّ أن اللون الأزرق للسماء يعود إلى انتشار الأوكسجين في الغلاف الجوي للأرض. وفي المقابل، فسَّر تايندل اللون الأزرق باعتباره نتيجة من تكسّر الضوء على جُسيمات الغبار في الهواء. وبيّن أن مقدار تكسّر الضوء يتفق عكسياً مع عدد يُمثّل طول موجة الضوء مضروباً بنفسه أربع مرات. ويعني ذلك، أن العنصر البنفسجي من أشعة الشمس، الذي يملك نصف طول موجة الأحمر، يتبدد بمعدل يفوق الأحمر بـ ١٦ مرّة.

ويؤدي توزّع الضوء بين الأزرق والبنفسجي إلى اصطباغ السماء باللون الأزرق. وعدّل ألبرت آينشتاين هذا الاستنتاج بعد نحو نصف قرن، حين أثبت أن جزيئات الهواء، وليس جسيمات الغبار، هي التي تُكسّر الضوء.

سخونة الأرض: مكّنت أبحاث جون تايندل عن انتقال الحرارة بواسطة الغازات، من تعزيز نظرية فورييه عن «أثر البيت الزجاج». ففي العام ١٨٦٠، قاس تايندل امتصاص الغلاف الجوي للأشعة. واستنتج أن ثاني أوكسيد الكاربون وبخار الماء مسؤولان عن ظاهرة احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة، التي رصدها فورييه من قبل. وفي العام ١٨٩٦، طوّر العالِم السويدي سافانت أوغست أرهينيوس تلك الفكرة. وانبرى لإيجاد جواب عن السؤال عمّا إذا كانت حرارة الهواء عند سطح الأرض تنجم عن قدرة تلك الغازات على امتصاص الحرارة. وأجرى حساباً لأثر مضاعفة كمية ثاني أوكسيد الكاربون في الجو على حرارة المناخ.

ووجد أنها تراوح، بين ٥ درجات و٦ درجات مئوية. لم تُثر أفكار أرهينيوس عن الارتفاع في حرارة الأرض اهتماماً، لأن العلماء لم يقتنعوا بنشوء وضع تتضاعف فيه كمية ثاني أوكسيد الكاربون في الغلاف الجوي.

وبحلول أربعينات القرن العشرين، تنبّه عالِم فيزياء بريطاني، جي أس كالندر، بعد

دراسة سجلات حرارة الطقس في عدة مراصد، إلى أن ارتفاع حرارة الأرض الناجمة عن زيادة ثاني أوكسيد الكاربون، يُمثّل عملية جارية فعلياً. وإلى ذلك الحين، لم يتقبل كثير من العلماء القول إن أنشطة الإنسان يمكنها التأثير في حرارة الأرض. ولم تشرع تلك الوجهة في التغيّر إلا مع بداية حقبة الستينات من القرن العشرين. عند ذاك، تراكمت أدلة تشير إلى الترابط بين ظاهرة ارتفاع حرارة الأرض (الاحتباس الحراري) وزيادة تراكم ثاني أوكسيد الكاربون في الغلاف الجوي.

ويميل الرأي راهناً إلى أن معدل حرارة الأرض شهد ارتفاعاً بمقدار نصف درجة خلال القرن الماضي. كما يدل تحليل مستويات ثاني أوكسيد الكاربون في ماضي الأرض إلى بلوغه مستويات لم يعرفها منذ ٧٥٠ ألف سنة. وإذا لاحظنا أن معدل إحراق الوقود الأُحفوري قبل مئة سنة لا يُعادل سوى كسر من معدلاته في المجتمعات الحديثة، يصبح من المهم مراجعة الاحتمال الذي فكر فيه أرهينيوس، باعتباره قابلاً للتحقق قبل نهاية القرن الواحد والعشرين. وحينذاك، قد تؤدي تلك الزيادة المتوقعة إلى نتائج وخيمة.

قياس الزمن الذي انقضى: قبل القرن التاسع عشر، قُسّم الزمن إلى «التاريخ» و«ما قبل التاريخ». واستعمل الأخير في وصف ما ظُنّ أنه حدث قبل نشوء السجلات التاريخية. ويملك «التاريخ» تسلسلاً وعُمقاً. فمن الواضح أن حريق لندن الكبير حدث بعد سقوط الإمبراطورية الرومانية، كما يمكن معرفة السنين التي انقضت بين هذين الحدثين. ولم يملك «ما قبل التاريخ» سوى تسلسل غائم. وبدا كأنه بلا عمق. وببساطة، أُشير إلى كل ما حدث قبل اعتماد السجلات التاريخية، وكأنه «حدث قبل زمن طويل». ويرجع المفهوم المعاصر للماضي إلى التقدّم الذي حصل في علمَي طبقات الأرض والتاريخ الجيولوجي.

وينهض علم طبقات الأرض الذي ظهر أولاً، على درس الصخور والترسبات في القشرة الأرضية، وإذ عكف علماء الآثار على النبش في مواقع المُدن القديمة، مثل طروادة

وأريحا، صاروا ماهرين في معرفة التسلسل التاريخي لما بُني عبر العصور، بالاستناد إلى شكل البناء وحجارته ونقوشه والأواني والأدوات وغيرها. وقادهم الأمر إلى رسم صورة تاريخية عن الحضارات السالفة، والتغيّرات التي شهدتها. كذلك اهتم علم طبقات الأرض بالبقايا الإنسانية التي تعود إلى حقب بعيدة. وأدت الدراسة المُتأنية للترسبات في طبقات الأرض إلى معرفة زمن تلك البقايا، ومن ثم إلى معرفة التسلسل الذي دُفنت به، مع مقارنتها بنظيراتها في بقاع الأرض. وحدّد علماء الآثار مراحل أساسية في التطور، مثل عصرَي البرونز والنحاس وغيرهما.

وفيما استعان الأثريّون بعلم طبقات الأرض لدرس ما قبل التاريخ، طبّق اختصاصيو الجيولوجيا أساليب مماثلة لمعرفة ما قبل التاريخ بالنسبة إلى الأرض نفسها. وبين منتصف القرن الثامن عشر ومنتصف القرن التاسع عشر، توصلوا إلى معرفة تقريبية لأعمار الصخور المُكوّنة لطبقات القشرة الأرضية. وأعطوا أسماءً للعصور الجيولوجية المتلاحقة، مثل الطبشوري والجيوراسي وسواهما، التي مرّت بها طبقات القشرة الأرضية. وبذا، اتضح لديهم أن تلك التغيّرات لم تحصل في بضعة آلاف من السنين. وذهب ظنّهم إلى أن الصخور، وما تحويه من بقايا حيوانية ونباتية، تعود إلى ملايين، وربما مئات الملايين من السنين. وعلى غرار علماء الآثار، استطاعوا أن يثبتوا الأزمنة الأقرب، وليس الأبعد. وكذلك علموا التاريخ النسبي، وليس المُطلق، لتلك الأشياء. وكثيراً ما بدت حججهم أقل من حاسمة.

وبين العامين ١٨٥٠ و١٩٥٠، تغيّرت دراسة ما قبل التاريخ عقب تطور التقنيات التي تمكّن من معرفة تاريخ الأشياء، مما حوّل علميِ الآثار والجيولوجيا من حكايات عن زمن غابر إلى نظام علمي متمكن. وثمة ثلاثة أمثلة من تلك التقنيات: تحليل حلقات الأشجار، وعُمر الكاربون المُشعّ، وعُمر اليورانيوم ٢٣٨.

يتعرّف تحليل حلقات الأشجار إلى تاريخ الأشياء المصنوعة من خشب، عبر تقصّي نسق

الحلقات في تلك الأخشاب. ففي البلدان المعتدلة المناخ، حيث تظهر دورة الفصول بوضوح، تتوقّف الأشجار عن صنع الخشب خلال الشتاء. وتعاود صنعه مع مطلع الربيع، وهو ما يصنع شكلاً قريباً من الحلقة. وفي خشب عمره ٧٠ عاماً، يمكن رؤية ٧٠ حلقة في مقطع عرضي لجذعه. وتزداد سماكة الحلقات في السنوات المطيرة، وتقل في السنوات التي يشح فيها المطر. إذاً، لا تُظهر هذه الطريقة عمر الشجرة فحسب، بل تحتوي أيضاً على سجل للظروف المتغيّرة التي عاشتها. وتؤدي دراسة الحلقات في الأشجار المُعمَّرة إلى معرفة نسق التقلّب في الظروف التي مرّت على المنطقة التي تحتضن تلك الأشجار.

ويمتد ذلك التاريخ إلى مئات السنوات، والآلاف أحياناً. وبمقارنة خشب من قارب أو كوخ بالمجموعة التي أُخذت منها، يستطيع الخبير تقدير زمن صناعة تلك الأشياء.

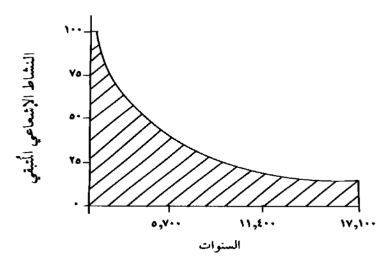
ثم استنبط العلماء تقنية عمر الكاربون المُشعّ، طريقة لتحديد عمر البقايا الحيوانية والنباتية التي عاشت قبل ٤٠ ألف سنة. وإذ يحصل النبات والحيوان على الغذاء، يتسرب بعض الكاربون من الغذاء إليهما. ثم ينتقل إلى النسيج العظمي في الحيوان وما يقابله عند النبات، مثل الخشب. ويأتي بعض ذلك الكاربون على هيئة النظير «كاربون ١٤» الذي يتعرض لتحلّل تدريجي بطيء، كما يصدر عنه بعض الأشعة الواهية. ومع موت النبتة أو الحيوان، تتوقف هذه العملية، ولا يتجدد الكاربون في أنسجتها.

ولكن الكاربون ١٤ يستمر في تحلّله المُشع، ويتحوّل إلى عناصر أخرى يعرفها العلماء جيداً. وعند تحليل قطعة من عظم أو خشب، يمكن تقصّي نشاطها الإشعاعي، مما يُمكّن من تقدير الزمن الذي مرّ منذ توقّف العمليات الحيّة فيها. وكلما قلّ الزمن الذي يفصلها عن الحاضر، أصبحت طريقة الكاربون ١٤ أقل دقّة. أما بالنسبة إلى الأشياء التي ترجع إلى المئات أو الآلاف من السنوات، فإن معدّل الخطأ يغدو خفيضاً، فتضحي النتائج أدقّ.

معنى «منتصف دورة الحياة»: يُعبِّر «منتصف دورة الحياة» للعنصر المُشع، عن الزمن اللازم لكي يُخفض مستوى نشاطه الإشعاعي إلى النصف. يُساوي ذلك ٥٧٠٠ سنة

بالنسبة إلى الكاربون ١٤. ويعني ذلك أن قطعة من العظام أو النبات يلزمها ٥٧٠٠ سنة لكي ينخفض مستوى إشعاع الكاربون ١٤ فيها إلى نصف ما كانه عند موتها. وإذا كان عمرها ١١٤٠٠ سنة، فستسجل نصف النصف، أي ٢٥ في المئة من مستوى أشعة الكاربون ١٤ عند موتها. وبعد أربعين ألف سنة، يصبح مستوى أشعة الكاربون ١٤ بمقدار ٢ في المئة مما كانه عند موتها. ويحتاج إلى أربعين ألف سنة أخرى ليصل إلى واحد في المئة، وهكذا. ويتّبع اليورانيوم ٢٣٨ خطّاً مُماثلاً في تحلّله، لكن «منتصف دورة الحياة» عنده تساوي ٤,٥ بليون سنة. ومن الواضح أن «منتصف دورة الحياة» لا يعني نصف عمر المادة.

فتصل تلك المُدّة إلى ٥٧٠٠ سنة في الكاربون ١٤، لكنه لا يختفي بعد ١١٤٠٠ سنة. فبعد تلك المُدّة، يصل إلى نصف النصف، أي الربع من نشاطه الاشعاعي. ويُظهر الخط البياني في الشكل ١٤ صورة للتحلّل التدريجي لذلك العنصر عبر دورات من «منتصف العمر».



الشكل ١٤: الخط البياني لـ«منتصف دورة الحياة» في الكاربون ١٤.

تتبع تقنية عُمر اليورانيوم ٢٣٨ مبدأ «منتصف العمر» نفسه. وإذ يُعتبر «اليورانيوم ٢٣٨» أحد نظائر عنصر اليورانيوم، فإنه يتحلّل على نحو أبطأ من الكاربون ١٤. وتصل مدة «منتصف العمر» لديه إلى ٤,٥ بليون سنة، مما يجعله أداة مناسبة لقياس عمر الصخور. وعندما ينتهي من تحلّله كلياً، يتحوّل إلى قصدير. لدى تحليل صخرة تحتوي على يورانيوم، فإن نسبة القصدير إلى اليورانيوم ٢٣٨ تعطي عمر تلك الصخرة.

وبهذه الطريقة وشبيهاتها، قرّر الجيولوجيون أن عمر أقدم صخرة في قشرة الأرض ٣،٨ بليون سنة. ودلّت عيّنات النيازك على أن عمر النظام الشمسي يصل إلى ٤،٥ بليون سنة.

الروزنامة الجيولوجية: قسّم علماء الجيولوجيا الماضي إلى أربعة دهور: قديم وفَجْري ووسيط وحديث. وقسّموا كل دهر إلى عصور، ثم قسّموا العصور القريبة إلى حقب. ترجع أقدم متحجرة لكائن حيّ إلى ٣ آلاف مليون سنة. وقبل ٥٠٠ مليون سنة، حدث ما يُعرف بـ«الانفجار الكمبري»، حين تفرّعت الممالك النباتية والحيوانية، بدءاً من أقدم أشكالها. وتسير الروزنامة الجيولوجية كالآتي:

العصر	الحقبة	من(*)	إلى(*)	الأشكال الحيّة
كمبري	-	٥٥٠	٥٠٠	-
أردفيشي	-	٥٠٠	٤٤٠	أسماك
سيلوري	-	٤٤٠	٤١٠	نباتات البر
ديفوني	-	٤١٠	٣٦٠	حشرات
فحمي	-	٣٦٠	٢٨٥	زواحف
بِرمي	-	٢٨٥	٢٤٥	-
ترياسي	-	٢٤٥	٢١٠	ديناصور ولبونات
جيوراسي	-	٢١٠	١٤٥	طيور
طبشوري	-	١٤٥	٦٥	نبات مزهر
الثلثيّ	باليوسين	٦٥	٥٧	أحصنة
	فجري	٥٧	٣٤	قردة
	ضحوي	٣٤	٢٣	قردة عليا
	ميوسيني	٢٣	٥	هومينويد
	بليوسيني	٥	١،٨	شبيه البشري
الرابع	بلستوسيني	١،٨	٠،٠١	الإنسان
	حديث	٠،٠١	الحاضر	-

(*) بملايين السنين

طبيعي أم مصنوع ؟: شهد العام ١٨٠٢ ظهور كتاب في إنكلترا، احتوى على أشد الصور إثارة للجدل العلمي. وأمسكت تلك الصور بخيال القرّاء، ولا تزال حاضرة حضوراً قوياً إلى الآن. وحمل الكتاب عنوان «الدين الطبيعي» لمؤلفه وليام بايلي.

دعا بايلي القُرّاء إلى تخيّل تجربة غرائبية. لتتخيّل، بحسب قوله، مسافراً يعبر أرضاً جرداء. ثم ظهرت أمامه ساحرة. الأرجح أنه سيدرك فوراً أنها ليست شيئاً طبيعياً، بل على العكس تماماً. وسيُدرك أن ثمة صانعاً لها. وفي الطريقة نفسها، بحسب بايلي، فإن المتأمّل في وردة أو فراشة يُراقب تعقيد تراكيبها، وكذلك طُرُق تكيُّفها مع أسلوب عيشها، لذا فلا بد له أن يُدرك أن ثمة صانعاً لها. وبالنسبة إلى قُرّاء بايلي، تنفي الصور التي رسمها كتابُه الأفكار التي تقول إن الطبيعة تكوّنت عبر سلسلة من عمليات تُسمّى «التطوّر». وظلّت أفكار بايلي مُهيمنة بقوة على الأذهان، زمناً طويلاً. ولكن، في العام ١٨٥٩، ظهر رجل وقال بنظرية مُعاكسة تماماً، وهي أن الطبيعة تكوّنت خطوة خطوة بالطريقة التي سخر منها بايلي.

داروين والانتقاء الطبيعي: أحدث تشارلز داروين ثورة كبرى في التفكير العلمي. وُلِدَ في العام ١٨٠٩، في «شروسبيري» الإنكليزية لأب طبيب. وفي خريف العام ١٨٢٨، عندما بلغ التاسعة عشرة، انتقل إلى الحرم الجامعي عينه الذي ارتاده وليام بايلي قبل سبعين عاماً، ليكون تلميذاً في كامبريدج. وقرأ كتاب بايلي بشغف، فأُعجب بقوة حججه. وتخرّج لدى بلوغه الثانية والعشرين. ثم أبحر كاختصاصي في علم الطبيعة في رحلة حول العالم، ليُجري مسحاً لمصلحة الأسطول الإنكليزي. وأدت المُلاحظات التي جمعها في تلك الرحلة إلى سلسلة من الأفكار التي غيّرته، وقادته إلى الاتجاه المُعاكس لما ذهب اليه بايلي.

فعندما وصلت الرحلة إلى أميركا الجنوبية، اكتشف داروين بقايا من حيوانات منقرضة. ولاح له أنها تحمل شبهاً عائلياً بالحيوانات التي تعيش في المنطقة عينها. ولدى وصوله إلى جزيرة «غالاباغوس»، عثر على أنواع مختلفة من الطيور التي لاحت، مرة

أخرى، أنها تحمل صفات مُتشابهة عائلياً، لكنها تختلف عن تلك الطيور التي تعيش في مناطق أخرى، حتى لو تشابهت البيئة التي تحيا فيها. وعَنَّ له أن تلك المُلاحظات تُخالف الانسجام الكامل بين الحيوانات وبيئاتها، والتي نادى بها بايلي. وصُدم داروين بالدرجة الكبيرة من الفروق بين الأنواع التي تحيا في بيئات مُتشابهة، ولكن في مناطق متباعدة من العالم.

وفي العام ١٨٣٨، بعد سنتين من عودته من تلك الرحلة، رأى قرداً من نوع «أورانج أوتان» في حديقة حيوان. فأدهشه الشبه بين القردة والبشر.

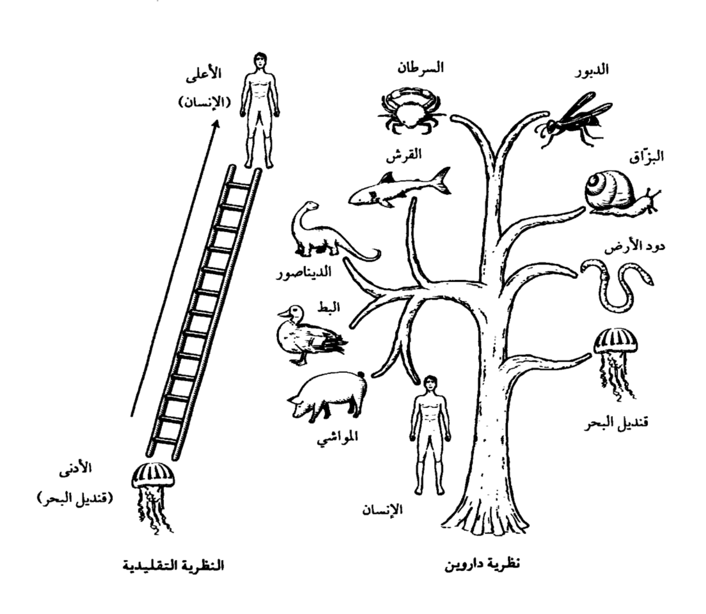
انهمك منذ بلوغه الثامنة والعشرين حتى الرابعة والثلاثين، في برنامج موسّع للقراءة والتأمّل. وفي العام ١٨٤٤، أكمل صوغ نظريته عن التطوّر عبر الانتقاء الطبيعي. وفي مقال لم يُنشر كتبه ذلك العام، شرح فيه دهشته للتنوّع الكبير في الطبيعة. ومال إلى تفسير ذلك التنوّع بعملية طويلة من التطوّر، لعبت فيها البيئة دوراً ضاغطاً أثّر في الأنواع التي تتصارع على البقاء.

وفي أجواء تلك الحقبة، اعتبرت كتابته خطيرة، فلم يجرؤ على نشرها، بل لفّها في ورقة بنيّة، ووضعها في الخزانة. وكتب رسالة إلى زوجته، طالباً منها نشر ذلك المقال بعد موته. لكنه غيّر رأيه، بعد ١٥ سنة، عقب تحريض من عالِم آخر في شؤون الطبيعة.

نظرتان إلى التطور: لم يكن تشارلز داروين أول من صاغ نظرية التطوّر. إذ نشر جدّه إيراسوموس داروين قصيدة طويلة عنها. ووضع عالم الطبيعة الفرنسي لامارك كتاباً عنوانه «فلسفة علم الحيوان»، خلص فيه إلى أن الأنواع الحيّة المعاصرة جاءت عبر التطوّر من أنواع أكثر بساطة. وسجّل داروين سبقاً لدى حديثه عن الآلية التي سارت بالتطور، وقدّم مجموعة من الأدلة عليها. وتنهض فروق كثيرة بين نظريته عن التطوّر وما قال به آخرون. فقبل دراوين، مال داعمو نظريّة التطوّر إلى تصوير تلك العملية على هيئة سلم يتدرّج من الأشكال البسيطة القديمة للحياة ليصل إلى أشكالها المُعاصرة.

ولكن الصورة التي أرّقت خيال داروين مختلفة كثيراً عن ذلك السُلّم، ولا تتضمن مفهومَي «الأدنى» و«الأعلى» في الأشكال الحيّة.

وتُشبه صورة داروين عن التطور شجرة تتفرع منها الأنواع الحيّة والمنقرضة.



الشكل ١٥: نظرتان إلى التطوّر.

شبّه كثيرون التطوّر بالسلم المتدرج صعوداً. ورأى داروين الإنسان فرعاً من شجرة الحياة.

التفسير الداروني: لا يتمثّل إسهام تشارلز داروين في علم البيولوجيا بنظرية التطوّر، بل في تنظيره المتصل بالطريقة التي تجري فيها تلك العملية. فقد نظر إلى التشابه بين ما انقرض من الأنواع وما بقي حيّاً منها. وكذلك لفت انتباهه التشابه بين الأنواع التي تحيا في منطقة بعينها، ففكر في عنصر تاريخي مشترك. ودرس عمل مربّي النبات والحيوان. ولاحظ كيفية استفادتهم من الفروق الموروثة بين أعضاء النوع، لاستيلاد أنواع جديدة. وسمّى تلك الأعمال الانتقاء الاصطناعي. وخمّن أن عمليات انتقاء مُشابهة تجرى طبيعياً، وأنها تحتمل، بتكرارها لأزمان طويلة، أن تُعطي أنواعاً جديدة. في الانتقاء الاصطناعي، تلعب يد المربّي الدور الحاسم في الاختيار. وأما في الطبيعة، فتتصارع الأنواع من أجل البقاء. وأطلق على تلك العملية اسم الانتقاء الطبيعي.

ترتسم فروق جمّة بين وصفَي لامارك وداروين للتطوّر. فقد نظر لامارك إلى التطور بصفته نتيجة لانتقال الصفات وتوارثها بين الأجيال. وهكذا، تتعلم حيوانات البرّ السباحة، فتلد أحفاداً تنتقل اليها تلك المهارة المُكتسبة، فتقدر على العوم في الماء!

وذهب ظنّ داروين في اتجاه مُغاير، لدى تفسير ذلك الامر. واعتقد أن التغيّر في الظروف البيئية يُحدث تغييراً في علاقات الحيوانات، حيث يُعطي الأولوية في الاستمرار للحيوانات التي تقدر على السباحة، على سبيل المثال. ولذا، تنتقل مهاراتها إلى الأجيال التالية، وهو ما يؤدي إلى ظهور أجيال، مع توالي الأزمان، تبرع في السباحة.

علاقات الحيوانات: لا تُرد الصفات المتشابهة إلى التوارث العائلي دوماً. يمكن ضرب مثل القنفذ الذي يحوز أنفاً أفطس في وجهه وذيلاً قصيراً في مؤخرته، ويحفر في الأرض دوماً، كحال الخنزير.

ومع كل ذلك التشابه، فإن القنفذ والخنزير لا ينتميان إلى العائلة نفسها، بل إن العلاقة بينهما أشبه بالعلاقة بين الفأر والغوريللا. وينتمي القنفذ إلى فصيلة آكلات الحشرات البعيدة من الخنازير.

وفي المقابل، تتقارب العائلة التي ينتمي الخنزير إليها مع تلك التي ينتمي إليها الدلفين، من دون صفات متشابهة ظاهرياً بينهما. ويُنظر إلى الدلافين باعتبارها من صنف الحيتان (حيوانات بحرية لبونة) القريبة من اللبونات المزدوجة الإصبع التي ينتمي إليها الخنزير والخروف. وقد عثر على متحجرات لِحيتان بأربع قوائم، تعود إلى ما قبل ٥٠ مليون سنة. ويبدو أن تلك الحِيتان نزلت إلى الماء تدريجاً، تحت ضغط الانتقاء فانفصلت عن قريباتها في البرّ.

الذئب التسماني ذو الجراب: يُعطي الذئب التسماني ذو الجراب مثالاً صارخاً عن المدى الذي تصل إليه مخادعة الصفات الظاهرية. والمعلوم أن قسماً كبيراً من تفكير تشارلز داروين في التطور استند إلى التشابه في الصفات الظاهرية للحيوانات والنباتات. وفي شكله الخارجي، يشبه الذئب التسماني مظهر الذئب. لكنه ليس من الحيوانات اللبونة التي ينمو جنينها في رحم ذات مشيمة. ويمتلك جراباً مثل الكنغارو. وربما عاد هذا الالتباس إلى التطور أيضاً. فكما يُعتقد بأن الدلفين والخنزير انفصلا قبل ملايين السنوات، نتيجة ضغوط البيئة، يُظن أيضاً أن الذئب ونوعاً من ذوات الجراب، تُسمى ثايلاسين، تقاربا قديماً، رغم تباعد أصول عائلتيهما، نتيجة ضغوط بيئية. ولسوء الحظ، فقد انقرض الثايلاسين. فلأنها تميل إلى التهام المواشي، عمد أهل القرن التاسع عشر إلى اصطيادها وملاحقتها، فانقرضت.

وسجل نفوق آخر واحد منها في حديقة للحيوانات في العام ١٩٣٦.

ألفرد راسل واليس: يُعدّ الإنكليزي ألفرد راسل واليس أكبر عالِم للطبيعة في القرن التاسع عشر. انتمى إلى أسرة متواضعة. وتدرّب على أعمال مساحة الأراضي. وفي العشرين من عمره، ذهب في بعثة استكشافية إلى أميركا الجنوبية، بغية تصيّد بعض الأنواع الحيوانية النادرة وبيعها لهواة جمع تلك الأنواع. ولكن سفينة العودة تحطّمت، فضاعت تلك الحمولة. ولم تثنه تلك الضربة، فانطلق مرّة أُخرى إلى جزر الأنديز

الشرقية، وشرع في اصطياد مجموعة جديدة. وخلال وجوده في تلك الجزر، في العام ١٨٥٨، خطرت في باله فكرة التطور، من دون أن يسمع بمقولات تشارلز داروين عنها. ثم وصلت إلى مسامعه شهرة داروين، من دون أن تتناهى اليه معرفة عن تفاصيل نظرياته. وكتب واليس إلى داروين يخبره عن تأملاته. ونقل داروين إليه تفاصيل ما فكّر فيه أيضاً. ورأى واليس أن داروين سبقه كثيراً. فأولاه ثقته وقدّمه على نفسه. وأمضى عمره في الترويج لأفكار داروين.

وعند عودته من جزر الأنديز الشرقية، وضع كتاباً عنوانه «أرخبيل مالاي» (١٨٦٩)، فأمّن له صيتاً واسعاً. عانى واليس ضربات الحظ العاثر. ولم يكن غرق سفينة عودته من أميركا الجنوبية سوى إحداها. وفي العام ١٨٧٠، تورّط في مشكلة مع جون هامبدن الذي كان من أنصار تسطّح الأرض. وخصص هامبدن مبلغ ٥٠٠ جنيه استرليني (ما يُساوي ٣٠ ألف جنيه اليوم)، لمن يستطيع إثبات كروية الأرض «من خلال إظهار احديداب نهر أو قناة أو بحيرة»، بحسب كلمات هامبدن. وفي المقابل، قضى الشرط بأن يدفع الشخص الذي يقبل التحدي مبلغاً مماثلاً في حال فشله.

وقبل واليس التحدّي. وأجرى تجربة على قناة «بيدفورد ليفل» التي لا يزيد طولها على تسعة كيلومترات.

بنى واليس تجربته على ما يعرفه عن أبعاد الكرة الأرضية. وبيّنت له حساباته أن في إمكانه وضع ثلاث علامات على ارتفاع متساوٍ من سطح الماء، بشرط أن يفصل بينها ٨و٤ كيلومتر، على جسور فوق القناة، ذلك أن العلامة الوسطى تظهر وكأنها أكثر ارتفاعاً بنحو ٥و١ متر.

وراقب هامبدن العلامات الثلاث عبر التيليسكوب، وأعلن أنها تنتصب على الارتفاع نفسه. ولكن الحُكّام أعلنوا صحة ما قاله واليس. ووقع نزاع استمر طويلاً. وفي غماره، أُدخل هامبدن السجن لارتكابه بعض المخالفات الجنائية. لقد استند واليس إلى حسابات صحيحة، لكن إثباتاته لم تكن حاسمة. ولم تعطه شهرة علمية. وزاد في الطين بلة، أن فوزه في نهاية النزاع المُكلف، لم ينفعه البتة ، بسبب إفلاس هامبدن.

تجارب ماندل: تشتهر مدينة برنو (واسمها القديم برِنن)، التي تعتبر المدينة الثانية في جمهورية تشيكيا، بصناعتها بندقية حربية حملت اسم «برِن». وفي منتصف القرن التاسع عشر، قطنها رجل ضمن لها شهرة ثابتة في تاريخ العلم. كذلك أجرى فيها مجموعة من أشهر التجارب في تاريخ البيولوجيا. كان اسمه غريغور ماندل. عمل قسّاً في دير سان توماس في تلك المدينة. وأخطأ كثير من المؤرخين حين كتبوا عن ذلك الدير وكأنه أرض بدائية مهجورة، علماً أنه كان حينذاك مركزاً ثقافياً وعلمياً في مدينة صناعية فخورة بنفسها، بلغ عدد قاطنيها ٧٠ ألف نسمة. وُلِدَ ماندل في عائلة فلاحية فقيرة، في العام ١٨٢٢، بقرية «هاينزيندورف»، في منطقة تنطق بالألمانية في «سيليسيا». وذهب إلى مدرسة القرية، ثم إلى مدرسة ثانوية محلية. ثم دخل «معهد الفلسفة» في مدينة «أولموتز» القريبة، وتُسمى راهناً «أولوموك» وتتبع جمهورية تشيكيا. ومنعه الفقر من متابعة دراسته الجامعية. وسيم قسّاً بناءً على توصية من أحد أساتذته. وقد تبع دير سان توماس المؤسسة الأغسطينية، وكُرِّسَ للتعليم. ودرّس قساوسته الرياضيات في «معهد الفلسفة».

حاز ماندل خلفية علمية قوية، وخصوصاً في الرياضيات والفيزياء. وساعده استقرار الأحوال في الدير على الانصراف إلى أبحاثه الخاصة. وقرر أن يدرس نتائج التزاوج بين الأنواع الحيّة. وابتدأ بالفأر الذي يتميّز بسرعة توالده، وهو ما يجعله مادة صالحة للتجارب على انتقال الخصائص عبر الأجيال المتلاحقة. ونُمي إليه أن دراسة قسٍّ للخصائص الجنسية قد لا يُنظر اليها بعين الرضى، فأوقفها. واستقر عزمه على دراسة النباتات، في حديقة الدير. وخصصت له مساحة طولها ٣٠ متراً وعرضها ٧ أمتار. وفي العام ١٨٥٥، استأنف أبحاثه مُركزاً على البازلاء. واختار ٢٢ نوعاً منها ليدرسها دراسة مُدقّقة. وحلّل نتائج انتقال ٧ صفات وراثية بين الأجيال المتلاحقة لتلك النبتة.

وبعد ١٤ سنة، زرع ٣٠ ألف شتلة بازلاء، وعيّن رئيساً للدير. ووضعت مسؤولياته المتعاظمة حدّاً لأبحاثه المُفصّلة. ولم تجلب له أعماله الشهرة.

وتوفي في العام ١٨٨٤، مُحاطاً بعطف رعيته وتكريمها له، لكنه ظلّ مجهولاً في سائر

أنحاء العالم. لقد قرأ ماندل كتاب «أصل الأنواع» لتشارلز داروين الذي توفي بعده بـ ١٨ شهراً. ولم يعلم داروين أن ماندل توصّل إلى حل المسألة الأساسية التي لم يحلّها أحد قبله: كيف تنتقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر. وبقيت الإجابة مدفونة ١٧ عاماً في ملفات الدير التشيكي. وأكثر من ذلك، فلو أن داروين علم بتجارب ماندل، لربما لم يحز من الخلفية العلمية ما يمكنه من فهم كُنهها. ولم يتوافر لداروين سوى معرفة ضئيلة بالرياضيات، على عكس ماندل الذي صاغ نتائج تجاربه في أسلوب المُعادلات الرياضية، الذي ما كان ليروق لعقل داروين.

لم يُعَدِ اكتشاف عمل ماندل إلا في بداية القرن العشرين. ولم توضع صيغة للجمع بين أعمال ماندل وداروين إلا في ثلاثينات القرن العشرين. وعُرفت تلك الصيغة باسم الداروينية الجديدة التي تعتبر حجر الأساس في النظرة المُعاصرة إلى التطور.

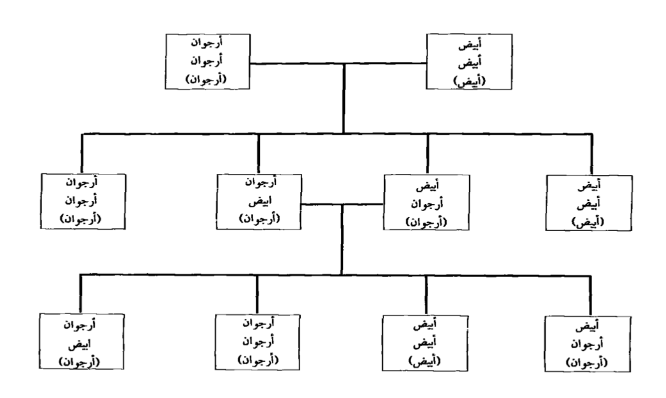
الصفات الموروثة: ثابر العلماء على وضع تجارب لإثبات ما يراودهم من أفكار. ولكن الحُشرية، لا الأفكار، مثّلت دافع القس التشيكي غريغوري ماندل في أبحاثه عن انتقال الصفات بين الأجيال. فقد أراد أن يفهم طُرق عمل الوراثة. ولذا، تركّزت تجاربه على انتقال الخصائص المُسيطرة (أي تلك التي إمّا أن تكون وإمّا لا تكون) في البازلاء، مثل اللون (أصفر أو أخضر) والقشرة (ناعمة أو مُجعّدة) وغير ذلك.

ويُنظر إلى هذا النوع من الخصائص على أنه أسهل طريق إلى درس الوراثة عبر الأجيال، ومن ثم فإنه يلائم التحليل الإحصائي للوراثة.

وعمد ماندل إلى نقل طَلْع زهور النباتات، أي تلقيحها بنفسه، مُحاذراً أن تُلقَّح نباتاته بواسطة الحشرات. واحتفظ بسجلات دقيقة عن النباتات المُلقّحة، وتلك التي أُخذ منها الطَلْع.

وبهذه الطريقة، تتبّع شجرة عائلة تلك النباتات. واكتشف أن تلقيح بازلاء خضراء اللون مع أُخرى خضراء، ينتج نباتات خُضراً. وكذلك الحال بالنسبة إلى تلقيح البازلاء

الصفراء مع نظيراتها. ولكن تلقيح بازلاء خضراء اللون مع أُخرى صفراء، فإن النتيجة تكون بازلاء صفراء. فإذا أُخذت حبوب من تلك الأخيرة وتزاوجت شتلاتها مع بازلاء خضراء فإن رُبع الجيل الثالث يحوز لوناً أخضر! ويُثبت ذلك أن تلك الصفات لا تمتزج بل تنتقل باستقلالية من جيل إلى آخر.



الشكل ١٦: لون الزهور بحسب قانون ماندل للوراثة.
تزاوج النبتة التي تحمل جينات أرجوانية اللون حصرياً، مع نبتة تحمل اللون الأبيض حصرياً. وفي النتيجة يحتل اللون الأرجواني ثلاثة أرباع الجيل التالي، لأن اللون الأرجواني يعتبر مسيطراً. ويُعطي تزاوج زهور أرجوانية من الجيل الثاني، جيلاً ثالثاً ربعه أبيض اللون.

عندما أجرى ماندل أبحاثه لم تكن كلمة جينة معروفة. وباستعمال مصطلحات راهنة، يسهل القول إن جينات اللون تمرّ من جيل إلى آخر. توصف جينات اللون الأصفر بأنها مُسيطرة بالنسبة إلى جينات اللون الأخضر. ويعني ذلك أن بعض البازلاء الصفراء قد يحمل جينات اللون الأخضر، من دون ظهور تلك الصفة عليه. ولأنها تمرّ من جيل إلى

آخر، فإنها قد تظهر في أجيال لاحقة في نبتة تلقت جينات خضراً من «والديها» كليهما.

ولّد عمل ماندل واقعتين. فأولاً، أعطى دلائل إحصائية أثّرت في مسار علم الجينات لاحقاً. وثانياً، برهنت على ملمحين أضحيا بؤرة علم الجينات المعاصر. ويتلخّص الملمحان في وجود جينات ذات علاقة بالنمط الظاهري، وأخرى تُرافق النمط الجيني. وتعطي جينات النمط الظاهري للحيوان أو النبات مظهره وصفاته الخارجية، في حين تُحدد الأخرى صفاته الوراثية الأساسية.

البسترة: بعد تجربة الإنكليزي إدوارد جينر، التي أثبتت فاعلية اللقاح في الوقاية من الجدري، ساد تفاؤل بتكرار نجاح مماثل. ولكن شيئاً لم يتحقّق قبل مضي ١٨٠ عاماً على اكتشاف «جينر» اللقاح الأول. وعاد الفضل فيه إلى الكيمياوي الفرنسي لويس باستور الذي وُلِدَ في دول بمقاطعة جورا الفرنسية في العام ١٨٢٢، لأبٍ يعمل دبّاغاً. وفي يفاعته لم يبدُ تلميذاً واعداً. وظهر لديه ميل إلى الرسم، كما حلم أن يُصبح أستاذاً للفن. وفي العام ١٨٤٢، وبعد أن درس مدة وجيزة في «الكلية الملكية» في «بيزانسون»، حصل على درجة البكالوريا في العلوم، بدرجة وسطى في علم الكيمياء. وفي العام ١٨٤٣، قبل أن يتجاوز الواحدة والعشرين من العمر، استطاع أن يحتل مكانة بارزة بين المتقدمين للتسجيل في كلية «إيكول نورمال» بباريس.

وككثير من العلماء، تبلْور ميله العلمي نتيجة تأثّره بأستاذ مُلهم. فقد أُعجب باستور بعالِم الكيمياء أنطوان جيروم بالار. ورغم بدايته المتعثرة مع الكيمياء، صمم أن يجعل منها هدف حياته. وفي غضون بضع سنوات، أجرى التلميذ «الوسط» سابقاً، تجارب جلبت له شهرة عالمية. ومُنح ميدالية «الجمعية الملكية في رامفورد» عن أبحاثه في الخصائص الضوئية لبلورات المواد العضوية. وفي العام ١٨٥٤، عُيّن عميداً لكلية العلوم في جامعة ليل. وجذبت صناعة الخمور اهتمامه، خصوصاً أنها كابدت خسائر بسبب تدهور مخزونها. وقد أصرّ كثير من علماء ذلك العصر، مثل الألماني غوستاس فون ليبيغ،

على القول أن التخمير عملية كيمياوية لا تتدخل فيها كائنات حيّة من أي نوع . وباستعمال الميكروسكوب، تبيّن لباستور أن اثنين من الكائنات الحيّة الدقيقة، وكلاهما من الخمائر، يلعبان دوراً أساسياً في تلك العملية. ينتج أحدهما كحولاً، والآخر حمض اللكتيك الذي يعطي الخمر مذاقاً لوذعياً.

وللتثبّت من طرد النوع السيىء، نصح باستور بأن تُسخن الخمر إلى ٤٤ درجة، قبل تخميرها. ورغم ذعر أهل تلك الصناعة من فكرة تسخين الخمر، فقد بيَّنت التجارب المختبرية التي قارنت بين استعمال التسخين وعدمه، فاعلية الطريقة التي اقترحها باستور. ومنذ ذلك الحين، عرف العالم مصطلح البسترة لوصف العملية التي ما زالت إلى اليوم مستخدمة في تأمين سلامة الأطعمة المحفوظة.

التوالد التلقائي: أوصل الاشتغال على التخمير باستور إلى ما حسم به أحد أطول النقاشات في تاريخ البيولوجيا: «التوالد التلقائي». فقد اعتقد علماء البيولوجيا طويلاً أن الكائنات الدقيقة تظهر فجأة، من تلقاء نفسها، أو أنها تخرج من المواد الميتة.

وحقّق باستور سبقاً تاريخياً بإثباته أن غبار الهواء يحمل كائنات دقيقة لا تُرى بالعين (جراثيم)، فإذا وضعت في بيئة مناسبة، تتكاثر وتنمو. وفي تجربة ذائعة، صنع باستور وعاء زجاج له عنق ملتوٍ. ووضع فيه سائلاً مُغذياً. وسخّن السائل والوعاء بقوة. ثم أحكم سد العنق. وبقي السائل أياماً من دون نمو أي شيء عليه، بمعنى أن «التوالد التلقائي» لم يحصل. وأعلن تلك النتيجة الحاسمة في اجتماع علمي ضخم في جامعة السوربون في العام ١٨٦٤. وبذا وضع باستور حداً نهائياً لمقولة «التوالد التلقائي»، فكانت نقطة الانطلاق الفعلية لعلم البكتيريا.

اكتشاف العدوى: بعد اكتشافه طريقة البسترة، استُدعي باستور لحلّ مشكلة إصابة النسيج بدودة الحرير، وهذا ما أقضّ مضاجع تلك الصناعة في جنوب فرنسا.

وأدار ميكروسكوبه صوب تلك الدودة، فاكتشف وجود كائنات دقيقة معششة فيها، إضافة إلى أوراق التوت التي تقتات بها الشرانق. ونصح بأن يباد المحصول المصاب، ويُستبدل به محصول جديد. وضمنت شهرته تنفيذ تلك النصيحة المكلفة. وباشتغاله على مشكلة دودة الحرير، فطن باستور إلى مشكلة الأمراض المعدية عموماً. فقد درج الطب تقليدياً، ومنذ أيام الإغريق، على أن المرض هو اعتلال في كائن مُحدد. ولذا، بدت فكرة باستور القائلة بانتقال المرض بين الكائنات الحيّة، وكأنها هرطقة.

وراهناً، تبدو فكرة الجراثيم مألوفة، لكنها لم تكن مقبولة سابقاً لأنها لا تظهر بوضوح للعيان.

ولم تكفِ واقعة إصابة عدد من الناس بالمرض عينه، وفي الوقت نفسه، لتثبت أنها تنجم عن شيء ينتقل من شخص إلى آخر. ولم يُشكل وجود البكتيريا في الجروح، أو عند المرضى، برهاناً كافياً في ذاته، على أن البكتيريا تُسبّب الأمراض. لذا، فعندما نصح باستور الأطباء والممرضات بغسل أيديهم تكراراً، وكذلك تعقيم أدواتهم وتعريض ضماداتهم لتيّار البخار الساخن، بدت تلك النصائح وكأنها استفزاز غير مبرر، مما أثار المشاعر ضدها إلى حد الغضب العارم. والمفارقة أن آراء باستور السياسية مالت صوب اليمين. وظهر التناقض كبيراً بين حرصه على الجماهير من مخلوقات صغيرة، وميله إلى حماية الجسد السياسي من التأثر بمصالح ملايين الناس. وأياً تكن مصادر إلهامه، فإن نصائحه أعطت الطب أقوى تطوّر نظري في تاريخه. وجاءت في إطار سلسلة من الاكتشافات التي يدين بها الطب لعلم البيولوجيا الكيمياوية.

لقاح باستور: في خريف عمره، كرّس باستور نفسه لتقصّي الإمكانات الكبيرة الكامنة في اللقاحات، والتي استهل أبحاثها الطبيب الإنكليزي إدوارد جينر، باكتشافه لقاح الجدري. وافتتحت تجارب باستور بالعمل على مرض الأنثراكس (الجمرة الخبيثة) الذي يُصيب الحيوانات. ووجد أن تسخين مُركّب فيه جراثيم الأنثراكس يؤدي إلى إضعافها. وعندما نقل تلك الجراثيم الضعيفة إلى الحيوانات، لم تُحدث سوى مرض

خفيف. وبعد الشفاء، أظهرت الحيوانات المُصابة سابقاً مناعة ضد الإصابة بالأنثراكس.وفي العام ١٨٨١، أجرى باستور تجربة مؤثرة برهنت عمّا توصّل اليه بشأن الأنثراكس. فقد نقل الجراثيم الضعيفة إلى نصف قطيع من الماشية. ثم حقن القطيع كله بجرثومة الانثراكس الطبيعية. ونجا النصف الذي نُقلت اليه الجرثومة الضعيفة، ونفق النصف الثاني. ثم طوّر لقاحاً أمل أن يُعطي مناعة ضد مرض الكَلَب. واستعمله في تجربة دراماتيكية. ففي العام ١٨٨٥، عندما بلغ باستور الثانية والستين عاماً، أُحضر له صبي مصاب بعضات كثيرة من كلب مسعور. وأعطاه باستور اللقاح الذي لم يكن قد جربه قبلاً. ونجا الصبي. وشكّل الأمر نجاحاً مدوياً، فكان ختاماً لائقاً لعالم يستحق أن يوضع على قدم المساواة مع أرسطو وداروين في عالم البيولوجيا.

موراي وخرائط المحيطات: في أربعينيات القرن التاسع عشر، بلغ علم الجيولوجيا الذي يدرس تركيب الكرة الأرضية وتاريخ صخورها، سن الرشد. ولكن عِلم المحيطات الذي يُعنى بدرس البحار وتاريخها، لم يكن قد وُلد.

ورُسمت صورة دارس الجيولوجيا كشخص يجوب الأرياف والمناطق الخلوية، حاملاً إزميلاً، ثم ينقل نتائج تجواله إلى زملاء يشاطرونه آراءه. وفي المقابل، يقتضي درس البحار رحلات مُكلفة، وربما تعذّر تنفيذه من دون دعم الحكومة أو المتمولين. ورغم ذلك، فقد وُلِدَ علم المحيطات في منتصف القرن التاسع عشر، نتيجة جهد خارق بذله رجل اسمه ماثيو فونتين موراي.

وُلِدَ موراي في فريدريكسبورغ، بولاية فرجينيا، في العام ١٨٠٦. ونشأ في عائلة فلاحية. التحق بالأسطول ضابط صف بحرياً. وعندما بلغ الرابعة والعشرين، أكمل تجواله حول العالم. وفي العام ١٨٣٩، تعرضت ساقه لحادث أجبره على التخلّي عن مهماته في البحار. ثم عُيّن مشرفاً على مخازن الخرائط والأدوات.

وانكبّ على عمله الذي جاءه على نحو غير متوقع، فأظهر نشاطاً هائلاً في درس

التيارات البحرية والرياح. وليجمع معلومات عن البحار، طبع دفاتر مُجدوَلَة، وطلب من قباطنة السُفُن ملأها خلال رحلاتهم.

اقتنع موراي بأن درس المُحيطات لا يمكن التوسّع فيه من دون مساعدة السلطات البحرية في الدولة. وأثمرت جهوده عندما عُقد مؤتمر دولي في بروكسل في العام ١٨٥٣، وافقت فيه الحكومات على تبنّي نظام موحّد ومعياري لتسجيل الطقس. وفي العام ١٨٥٥، نشر الكتاب الأول عالمياً عن المحيطات وعنوانه «الجغرافيا الفيزيائية للبحر».

اندلعت الحرب في العام ١٨٦٣، وعُيّن موراي مسؤولاً عن مكتب الدفاع عن سواحل الاتحاد. وبعد هزيمة الاتحاد، نُفي إلى المكسيك ثم إنكلترا. وفي العام ١٨٦٨، عاد إلى الولايات المتحدة، وعُيّن أستاذاً للفيزياء في «معهد فرجينيا العسكري»، حيث قضى السنوات الخمس الأخيرة من حياته. وفي العام ١٩٣٠، نصب له تمثال في قاعة المجد المُخصصة للعظماء في أميركا.

المسوح والبعثات: بعد ظهور كتاب «الجغرافيا الفيزيائية للبحر» بربع قرن، حدث انفجار في المعرفة المتعلقة بالمحيطات. دُرست جغرافيتها، وتراكيبها وتياراتها وأحوال طقسها وأشكال الحياة التي تستوطنها. وحدث ذلك الانفجار لعدّة أسباب، أهمها الكابلات البحرية. فقد مُدّ أول كابل بحري في قعر مضيق دوفر في العام ١٨٥١.

واقتضت أعمال تمديد الكابلات تحسين المعرفة عن قيعان المحيط، وتياراته ومتغيرات الحرارة في مياهه. كذلك شجعّت على تطوير تقنيات جديدة أثبتت قيمتها في مجال الغواصات. ووفرت شركات الكابل الأموال اللازمة لجمع تلك المعلومات بطريقة علمية.

ولم يُدرك علماء بيولوجيا البحار الفرص التي أتاحها تمديد الكابلات البحرية، لأن الاعتقاد السائد رجّح عدم وجود أشكال للحياة في قيعان المحيط، حيث تسود ظروف غير ملائمة مثل الضغط الشديد والبرودة والظلام. وفي ستينيات القرن التاسع عشر، شرعت الأدلة على عدم صحة ذلك الاعتقاد في الظهور. وفي العام ١٨٦٨، لاحظ اثنان

من البيولوجيين الإنكليز، دبليو بي كاربنتر ويفل تومبسون، أن بعثة حسنة التجهيز بإمكانها جمع معلومات ثرية عن الأوضاع الفيزيائية وأشكال الحياة في أعماق البحار. ولذا، حاولا إقناع «الجمعية الملكية» بدعم سلسلة من البعثات لاكتشاف أعماق المحيط. وخلال رحلتين، حملتا اسم «البرق والنيص»، استطاع الضابطان جمع أدلة غير قابلة للدحض عن احتضان أعماق المحيطات لأشكال من الحياة لا يعرفها العلم.

ومع توالي البعثات، أثار كاربنتر المعلومات التي جمعتها السُفن عن البحار وحرارتها وكثافتها وحركة تياراتها في أعماق متباينة. ورسخ لديه اقتناع بأن التيارات العميقة للمحيطات تتبع نمطاً ثابتاً، وأنها تلعب دوراً مهماً في تقلّبات المناخ، بما في ذلك التسبّب بالعصور الجليدية. ولاقت تلك الأفكار مُعارضة قوية في صفوف المتضلعين من شأن العصور الجليدية، وخصوصاً الاسكتلندي جايمس كارول الذي آمن بأن الرياح التجارية تشكّل القوة الدافعة الأولى في تقلبات المناخ. وكذلك رأى أنها تُسبب التيارات المائية في المحيطات، وتُحدّد مسارها. وقد رسخ اعتقاد كاربنتر بأن تلك النظرية يجب هجرها، وأنها ستُنقض إذا تمكّنت رحلة ثالثة من مسح المحيطات غير المعروفة.

وبدعم من «الجمعية الملكية»، أقنع كاربنتر الحكومة البريطانية بإطلاق بعثة تتولّى مسح محيطات العالم، على أن تحملها السفينة الملكية تشالنجر. وبين العامين ١٨٧٢ و١٨٧٦، جابت تشالنجر محيطات الأرض، وعلى متنها بعثة علمية يترأسها تومبسون. ونُشرت نتائج تلك الرحلات في خمسين مجلداً، ظهرت بين العامين ١٨٨٠ و١٨٩٥، وكانت علامة فارقة في تاريخ علم المحيطات. كذلك برهنت، بما لا يدع للشك مجالاً، أن التيارات المائية العميقة للبحار تتبع نمطاً مُحدّداً، كما خمّن كاربنتر قبلاً.

اكتشاف أشعة إكس: نجمت بعض الاكتشافات المهمة عن السعي وراء أشياء أخرى. إنها اكتشافات المصادفة. ويُعطي الاكتشاف الذي حقّقه مختبر جامعة «فورزبرغ» بألمانيا، في العام ١٨٩٥، مثالاً عنها. ففي ذلك المختبر، عمل الألماني وليام كونراد رونتغن

الذي وُلد في «الينيب» في بروسيا في العام ١٨٤٥. ونشأ في عائلة لتاجر قماش ودرس في هولندا وسويسرا، وتدرّب ليكون مهندساً ميكانيكياً. لكنه غيّر رأيه، وقرّر أن يخوض في علم الفيزياء. ومنذ بلوغه الثلاثين وحتى الخمسين، شغل عدداً من المناصب الجامعية، بما فيها منصب الأستاذية في ستراسبورغ وميونيخ وفورزبرغ.

في ٨ نوفمبر / تشرين الثاني ١٨٩٥، انشغل رونتغن بتجارب على أشعة الكاثود، ذلك التيّار من الجسيمات ذات الشحنة الكهربائية السالبة التي تنطلق من القطب الكهربائي في أنبوب مُفرغ، والتي لم تكن مفهومة على نحو تفصيلي. وفجأة، لاحظ أن شاشة موضوعة مصادفة على بعد متر من الأنبوب، توهّجت توهّجاً غير متوقع.

وتبيّن أن تلك الشاشة مطلية بمادة تُسمّى «باريوم بلاتنوسيانايد». وأدرك رونتغن أن الأمر لا يتعلّق بأشعة الكاثود الضعيفة. وخُيّل إليه أن ثمة إشعاعاً غير معروف له، تسّرب من الأنبوب، وتسبّب في ذلك التوهّج. وخلال الشهر التالي، توصّل رونتغن بحماسة كبيرة إلى عدد من الاكتشافات عن خواص تلك الأشعة المجهولة. وأثبت أنها لا تنحرف تحت تأثير الحقل المغناطيسي. ووجد أيضاً أنها تستطيع المرور عبر مجموعة من المواد الصلبة، بما فيها الخشب والحديد ويد زوجته! فعندما وضع شاشة فوتوغرافية خلف يد زوجته، ظهرت صورة لعظام تلك اليد.

وأعلن اكتشافه في ٢٨ ديسمبر / كانون الأول، مُطلقاً على تلك الأشعة المجهولة اسماً ما فتئ يرافقها: «أشعة ـ أكس». واتضح لاحقاً أن تلك الأشعة تمتلك مزايا مُدهشة. إذ تتصرّف وكأنها ضوء مرئي، لكن خيوط أشعتها لا تنكسر ولا تنعكس مثلما يفعل الضوء. وظهرت بوضوح فائدتها للطب. وسرعان ما صارت صور أشعة إكس جزءاً من التشخيص الطبي.

ولم تتضح طبيعة تلك الأشعة إلا في العام ١٩١٢، عندما استطاع عالم ألماني آخر، ماكس تيودور فيلكس فون لوه، إثبات أنها أشعة كهرومغناطيسية بموجات أقصر من الضوء.

في ذلك الحين، لم تكن الآثار المؤذية على المدى الطويل، لتلك الأشعة معلومة. وعانى رونتغن ومعاونوه بسببها. ولاقى بعض التعويض في أنه أول من فاز بجائزة نوبل للفيزياء.

بيكريل يكتشف: تكرّر الدور الذي لعبته المصادفة في اكتشاف رونتغن لأشعة أكس، في تجربة فيزيائي آخر، قرّر المضي قدماً في تقصّي خصائص تلك الأشعة. وأتت المصادفة، هذه المرة، أكاديمياً بروسياً اسمه انطوان هنري بيكريل. وُلِدَ بيكريل في العام ١٨٥٢، أي أنه أصغر من رونتغن بسبع سنوات. وترعرع في عائلة من اختصاصيي الفيزياء. وفي العام ١٨٩١، عُيّن في منصب في «متحف التاريخ الطبيعي» بباريس، سبق لجده وأبيه أن شغلاه. وفي العام ١٨٩٥، أصبح بروفيسوراً في الفيزياء في «معهد البوليتكنيك» بباريس. أنجز والد بيكريل بحثاً مهماً عن ظاهرة الاستشعاع (فلوريسانس). وتابع ابنه المسار عينه.

وتعمّق بيكريل في درس الأشعة التي ابتكرها رونتغن. وخطر له أنها ربّما نجمت عن استشعاع بعض المواد. وفي فبراير / شباط من العام ١٨٩٦، لفّ بعض الأفلام الفوتوغرافية بورقة سميكة، ثم وضعها في الشمس، بعد تثبيت بلورة لمادة استشعاعية، بوتاسيوم يورانيل سالفيت، على قمتها. وأمل أن تتسبب الشمس باستشعاع البلورة، فتنطلق أشعة إكس منها، وتصيب الأفلام الملفوفة في الورقة. ولم يخب ظنّه. فقد ظهرت بعض الصور الضبابية على الفيلم الفوتوغرافي، بعد تحميضه. وحاول تكرار التجربة، مع وضع صليب نحاس بين البلورة والفيلم. وصودف أن غامت الشمس عدّة أيام، فانتابه الضجر. فقرر أن يُحمّض الفيلم، من دون انتظار معاودة سطوع الشمس. ودُهش لرؤية صورة عن الصليب النحاس، مما يعني أن الأشعة صدرت من البلورة، وليس من استشعاعها بتأثير الشمس. وبدا ذلك اكتشافاً مُذهلاً، إذ لم يعرف العلماء قبلاً أن الطاقة قد تصدر ببساطة من بعض أنواع المواد الصلبة.

وبيّنت تجارب أكثر تفصيلاً، أن ذلك الإشعاع، أيّاً يكن مصدره، لم يكن أشعة إكس، لأنه قابل للانحراف تحت تأثير الحقل المغناطيسي.

بيار وماري كوري: لم يظهر حلّ للأشعة الملغزة التي حصل عليها بيكريل، إلا عبر الزوجين ماري وبيار كوري اللذين شكلا أنجح ثنائي متزوج في تاريخ العلم.

وُلِدَت ماري في ضاحية «ماريا سكلودوفوسكا» من العاصمة البولونية وارسو، في العام ١٨٦٧. عمل والدها، فالاديسلاو، أستاذاً للعلوم إلى أن أُقصي عن منصبه، عقب مشاركته في انتفاضة وطنية فاشلة ضد الاحتلال الروسي، قبل أربع سنوات من ولادة ماري. وتمتّعت الابنة بالذكاء، وبرّزت في دراستها الثانوية، لكنها لم تستطع الحصول على تعليم جامعي في موطنها.

وبواسطة العمل الشاق وإنكار الذات، استطاعت توفير بعض المال للسفر إلى باريس لمتابعة الدراسة الجامعية في السوربون. وفي العام ١٨٩٣، وباعتبارها أول طالبة تتخرج في قسم الفيزياء في تاريخ السوربون، وضعت في رأس لائحة المتقدمين لنيل درجة الإجازة في علوم الفيزياء. وفي العام ١٨٩٤، أحرزت نجاحاً مماثلاً، فحلّت ثانية بين خريجي الرياضيات.

وفي تلك السنة عينها، التقت بيار كوري الذي يعمل مُدرّساً في الجامعة. علمت ماري أن بيار يكبرها بثماني سنوات، وأنه يشتغل على الخواص الكهربائية للبلورات. وتزوجا في العام ١٨٩٥. وتشاركا في برنامج بحثي تأتى له أن يغيّر دراسة علم الفيزياء، وكذلك هزّ علمَي الكيمياء والطب.

برع بيار، نظرياً وتطبيقياً، في صنع الأدوات الدقيقة التي أدّت دوراً حاسماً في نجاح ذلك البرنامج. وكذلك شكّلت عبقريته التي انقادت لها ماري بحبور، زوجةً وعالمة.

وفي العام ١٨٩٧، وضعت ماري بنتاً سمّتها أيرين. وكانت قد استمرت بالعمل طوال حملها. ثم تابع الزوجان كوري عملهما، يدعمهما والد بيار الأرمل الذي كرّس نفسه لرعاية حفيدته.

بعد أسابيع قليلة من ولادة الطفلة، شرعت ماري في إعداد أطروحتها لنيل الدكتوراه. وجعلت موضوعها الأشعة التي اكتشفها بيكريل في السنة الفائتة. وبرهنت أنها صدرت من اليورانيوم، إحدى المواد التي حوتها البلورة التي استعملها بيكريل في تجربته. وأثبتت أن مقدار الأشعة يعتمد على كمية اليورانيوم، وأنها لا تتأثر بضوء الشمس ولا بالحرارة ولا بالحال الكيمياوي لليورانيوم. واستخلصت أن أشعة بيكريل تمثّل ظاهرة غير معروفة من قبل، وأنها تنجم عن ذرّات اليورانيوم نفسها. وأدار الزوجان كوري اهتمامهما صوب البحث عن مواد مُشابهة لليورانيوم، وتستطيع إصدار نوع الأشعة عينه. ولقد اكتشفا، قبل مُدّة طويلة، مادة تتصرّف مثل اليورانيوم، وسمّياها ثوريوم. وصاغت ماري كوري للظاهرة المُشعّة التي تصدر من اليورانيوم والثوريوم، اسم النشاط الإشعاعي. وتفحّصت خامات اليورانيوم والثوريوم. وأذهلها أن بعض تلك الخامات أظهر نشاطاً إشعاعياً أكبر من ذينك العنصرين. ولم تملك لذلك سوى تفسير وحيد هو أنها تتعامل مع عنصر غير معروف للعلم، ويملك نشاطاً إشعاعياً عالياً.

وعند هذه النقطة، قرر الزوجان تركيز انتباههما على الخلائط المعدنية. وأثناء اشتغالهما على فصل العناصر من خاماتها، لاحظا أن تلك الخامات تحتوي على عنصرين مُشعّين آخرين، إضافة إلى اليورانيوم. وصاغا لهما اسمَي بولونيوم، تكريماً لموطن ماري، وراديوم، اشتقاقاً من كلمة لاتينية تعني شعاع الضوء.

أظهر الزوجان كوري اقتناعاً كبيراً بالنتائج التي توصلا اليها. ولكن أعضاء كُثُراً في المجتمع العلمي لم يقتنعوا بتلك الاكتشافات. ولإقامة البرهان المقنع على استنتاجاتهما، تعيّن عليهما استخلاص كمية معقولة من تلك المواد في حالها النقية. وقد وجدا مصدراً رخيصاً لتلك الخامات في نفايات صناعة الزجاج البوهيمي. وسعيا إلى استخراج الكميات الضئيلة من المواد المُشعة، المنبثة في أطنان من الزجاج، التي استورداها، مما استغرقهما الكدح المضني نحو أربع سنوات، في ظلّ ظروف لا تكاد تُطاق. وبعد تلك

السنوات الصعبة، في العام ١٩٠٢، تمكّنا من جمع عُشر غرام من الراديوم النقيّ، وأخرس ذلك نقّادهما.

وفي العام ١٩٠٣، مُنحا هما وبيكريل، جائزة نوبل للفيزياء، لعملهم على ظاهرة النشاط الإشعاعي. وفي العام ١٩٠٤، عُيّن بيار أُستاذاً للفيزياء في جامعة السوربون. وتوفي بعد سنتين بحادث طريق. وعُيّنت ماري أُستاذة للفيزياء في المنصب الذي شغر بوفاة زوجها. وأصبحت أول أُنثى تنال منصب أستاذية الفيزياء في السوربون.

وفي العام ١٩١١، باتت ماري كوري أول شخص في التاريخ يفوز بجائزة نوبل مرتين، بنيلها تلك الجائزة عن فئة الكيمياء، مكافأة لجهدها في عزل مادة الراديوم النقي. ولم يستطع أي عالم آخر نيل جائزة نوبل مرتين خلال نصف القرن التالي. توفيت ماري كوري في العام ١٩٣٤، وهي في قمة شهرتها، بسبب مرض سرطان الدم (لوكيميا) الذي سببته المواد المُشعة التي كرّست نفسها لدراستها.

اكتشاف الإلكترون: في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، تكشّفت للعلماء أشياء مهمة، مثل الفرق بين الذرّة والجزيء، والطريقة التي تتحد فيها الذرّات لتشكيل الجزيء.

وهيمن ظلّ جون دالتون، ونظريته عن الذرّة باعتبارها أصغر لبنة تُبنى بها المادة، على معظم القرن التاسع عشر. وسيطرت نظريته على علمَي الكيمياء والفيزياء. ومع اقتراب ذلك القرن من ختامه، دُمّرت تلك النظرية باكتشاف أن الذرّة نفسها تتألف من جسيمات أصغر، وأنها ملأى بالفراغ في داخلها. ويرجع الفضل في هذه النقلة في صورة الذرّة إلى عالِمين هما جوزيف جون تومسون، وأرنست رذرفورد.

وُلِدَ تومسون قرب مدينة مانشستر في العام ١٨٥٦. وأعدته عائلته ليغدو مُهندساً. وقضت وفاة والده على هذا الأمل. ودرس في ثانوية أوين، ثم شُغِف بعلم الفيزياء. وتبلور لديه طموح للذهاب إلى كامبريدج. ونال منحة لدراسة الرياضيات في كلية

ترينيتي التي عاش فيها نيوتن مدة من الزمن، وحيث يحاضر، حينذاك، جايمس ماكسويل مُدرِّساً. واجتاز الامتحانات بتفوّق، ثم بات مُحاضراً جامعياً.

في العام ١٨٨٤، بلغ السابعة والعشرين وعُيِّن مديراً لمختبر كافنديش في كامبريدج، حيث بقي ٣٥ سنة. وتحت قيادته، أضحى المختبر مؤسسة رائدة عالمياً في الفيزياء. ويرجع جزء من ذلك النجاح إلى توافر أموال جاء معظمها من مؤسسة «المعرض الكبير» وكانت كافية لجذب بحّاثة كبار. سجّل تومسون إنجازاً هائلاً باكتشافة الإلكترون: جسيم له شحنة كهربائية سالبة، يصل وزنه إلى ٢٠٠٠ / ١ من ذرة الهيدروجين. وضمن الإلكترون لتومسون نيل جائزة نوبل للفيزياء في العام ١٩٠٦. وشدّد على أن الالكترونات تكوّن جزءاً أساسياً من الذرّة التي نظر إليها ككرة صلبة، تدور على سطحها الخارجي الإلكترونات ذات الشحنة السالبة، فكأنها قطع الفاكهة على الكعكة، وبعدد يكفي للتعادل مع الشحنة الموجبة للذرّة.

أرنست رذرفورد: في العام ١٨٩٥، انضمّ أرنست رذرفورد إلى جوزيف جون تومسون، مُساعداً له في مختبر كافنديش. وسبق ذلك فوز رذرفورد بإحدى منح «المعرض الكبير». وُلِدَ رذرفورد في بلدة «برايت واي» في نيوزيلندا في العام ١٨٧١، فكان الثاني بين ١٢ ولداً. أظهر تفوقاً مُبكراً في الدراسة، ونال منحة لمتابعة الدراسة في جامعة كانتربري. وقد حلّ ثانياً في المسابقة المحلية التي أدارتها مؤسسة «المعرض الكبير». لكن الفائز الأول قرر البقاء في نيوزيلندا. وتروي إحدى القصص أن خبر انسحاب المُنافس وصل إلى رذرفورد أثناء عمله في الحقل، فرمى الرفش من يده قائلاً: «هذه آخر حبة بطاطا أقتلعها».

استمر رذرفورد في عمله مساعداً لتومسون على مدى عامين، ثم تقدّم بطلب إلى منصب أستاذية الفيزياء في جامعة ماكغيل في كندا. وفي العام ١٨٩٨، وصل إلى تلك البلاد ليجد نفسه مسؤولاً عن أحد أفضل مختبرات الفيزياء تجهيزاً في النصف الغربي من الكرة الأرضية، والذي تُموّله شركات التبغ الوافرة الثراء.

البروتون والنيوترون: ثار اهتمام رذرفورد بأنواع الأشعة كلها، عندما تناهى إلى مسمعه خبر اكتشاف أنطوان بيكريل للنشاط الإشعاعي، أثناء فترة عمله في مختبر تومسون. فما إن استقر به المقام في المختبر الكندي، حتى بادر إلى إطلاق برنامج أبحاث عن النشاط الإشعاعي، الذي اشتغل به أربعين سنة متواصلة. وفي العام ١٩٠٤، وضع مؤلَّف «النشاط الإشعاعي» الذي يُعتبر أول كتاب عن تلك الظاهرة، ولذا أصبح تحفة علمية كلاسيكية.

وتنامت شهرة رذرفورد، فحاولت جامعات أخرى اجتذابه. وفي العام ١٩٠٧، عرض أستاذ الفيزياء في جامعة مانشستر أن يترك منصبه، مقابل أن يحلّ رذرفورد محلّه. ووافق الأخير وقضى ١٤ سنة في ذلك المنصب.

وحاز مختبر مانشستر شهرة طيّبة، حتى قبل قدوم رذرفورد. وعُدّ منافساً مباشراً لمختبر كافنديش في كامبريدج.

وبين العامين ١٩٠٧ و١٩٠٩، خاض رذرفورد ومُعاونه هانز غيغر (الذي ابتكر لاحقاً «عداد غيغر» لقياس النشاط المُشع)، غمار أبحاث مُكثّفة عن طبيعة جسيمات ألفا، تلك الجسيمات ذات الشحنة الموجبة كهربائياً التي تصدر من بعض المواد المُشعة.

وتضمّنت بعض تجارب رذرفورد وغيغر، إطلاق الجسيمات باتجاه صفائح رقيقة من الذهب. ومرّت الغالبية العُظمى من تلك الجسيمات، ٧٩٩٩ من أصل ٨٠٠٠، عبر الصفائح من دون انحراف مسارها. واستخلص رذرفورد أن ذرّات الذهب، وعناصر أخرى، تتألف من فراغ يحتوي على نواة صلبة صغيرة. وفي العام ١٩١٩، عاد ثانية إلى كامبريدج. وأجرى تجربة قصف فيها النيتروجين بجسيمات ألفا، فأدى الأمر إلى انطلاق جسيمات موجبة كهربائياً من ذلك الغاز. ولاحقاً، تمكّن أن يُظهر أن تلك الجسيمات موجودة في أنوية الذرّات كلها. وسمّى تلك الجسيمات بروتونات.

وبعد بضع سنوات، أشار جايمس شادويك الذي عمل مع رذرفورد في مانشستر عقب فوزه بمنحة في نيوزيلندا، إلى أن الأنوية الذريّة لا تتألف من البروتونات وحدها. وحاجّ بأنه لو كان الأمر كذلك، لحازت الذرة شحنة كهربائية موجبة كبيرة. وفي العام ١٩٣٢،

استطاع أن يُثبت أن نواة الذرّة تضمّ جسيمات لا تحتوي على شحنات كهربائية، بوزن يعادل وزن البروتونات تقريباً. وسمّاها نيوترونات. ونتيجة عمل تومسون ورذرفورد وشادويك، إضافة إلى إسهامات من علماء آخرين توسّعوا في الموضوع عينه، توصّل العالم إلى صوغ صورة أكثر عملانية عن الذرّة وتركيبها، بحيث باتت تضمّ:

١ ـ نواة صلبة يتجمّع فيها معظم وزن الذرّة، وتتألف من بروتونات موجبة كهربائياً ونيوترونات لا تحتوي على أي شحنة كهربائية.

ويحوط تلك النواة...

٢ ـ فراغ كبير (بالنسبة إلى حجم الذرّة) حيث تدور جسيمات ضئيلة الوزن، وشحنتها الكهربائية سالبة، تسمّى إلكترونات، في مداراتها.

وفي عشرينات القرن العشرين، بدا أن النموذج الكواكبي عن الذرّة، يحتوي على الحقيقة الأساسية لتركيب المادة. وترجع التسمية إلى الشبه بين دوران الإلكترونات في مدارات حول النواة، ودوران الكواكب السيّارة في مداراتها حول الشمس. ولم يدم هذا الانطباع إلا مدة وجيزة. وخلال سنوات قليلة، أظهرت اكتشافات أخرى أن النموذج السابق لا يمثّل سوى تبسيط ضخم لحقيقة الذرّة. كما برزت نظرية غير مألوفة، اسمها نظرية الميكانيكا الكمومية، تُشير أيضاً إلى أمر مُشابه. وفي المقابل، لا يزال النموذج الكواكبي صالحاً بالنسبة إلى جمهور كبير من غير الاختصاصيين.

تطوير جدول ماندلييف: ثمة صعوبة في الحديث عن الكيمياء، تتمثّل في خطر إعطاء ماندلييف أكثر مما يستحقه. صحيح أنه حقق إنجازاً هائلاً، لكنه استند إلى أعمال الكثيرين ممن سبقوه.

وراهناً، يضمّ الجدول الدوري للعناصر الكيمياوية كثيراً من إسهامات من جاؤوا بعده، وخصوصاً الفيزيائي الإنكليزي هنري موسلي. وُلِدَ موسلي في بلدة بحرية اسمها «وايموث»، في العام ١٨٨٧، في عائلة تهتمّ بالعلم. فقد عمل أبوه أستاذاً لعلم التشريح،

ولكنه توفي قبل بلوغ ابنه سن الرابعة. تحدّر موسلي من جديّن من العلماء المميزين، كما قدّمت أخته الكبرى إسهاماً مهماً في علم البيولوجيا. وفاز موسلي بمنحة تخوّله الدراسة في «كلية أيتون» وجامعة أوكسفورد. وعقب تخرجه في العام ١٩١٠، التحق بفريق العلماء الشباب الذين تجمّعوا في مختبر رذرفورد في مانشستر. وهناك، التقى العالِم الدنماركي نيلز بور، وخاضا نقاشات عميقة.

وبعد سنوات قليلة، تمكّن من تحقيق اختراق علمي مذهل عن تركيب الذرّة، مستخدماً تحليل الانكسار في أشعة إكس كوسيلة لدرس ذلك التركيب.

لقد اعتمد ماندلييف في ترتيب الجدول الدوري على الوزن الذري للعناصر. وأبقى هذا الترتيب على بعض المفارقات من دون حلّ. فمثلاً، لم يعثر على وسيلة لمعرفة الحد الأدنى من الفرق في الوزن الذي يفصل بين العناصر. ولذا، لم يتوصّل إلى معرفة دقيقة للمواد التي تنقص جدوله. وكذلك يصعب النظر إلى الوزن الذري ككمية معلومة، لأن بعض المواد تتوافر في أكثر من شكل، أي أن لها أكثر من نظير. وقلب موسلي تلك الصورة، فأوقف الجدول الدوري على قدمين ثابتتين. واشتغل على قياس الشحنة الكهربائية لنواة الذرّة، فمكّنه ذلك من إعادة نظم الجدول الدوري بناء على تراتبية الرقم الذري، وليس الوزن.

ويتحدّد الرقم الذري بعدد الشحنات الكهربائية الموجبة في نواة الذرّة، أي ما نعرف الآن أنه عدد البروتونات فيها. ويعطي ذلك أرقاماً صحيحة دائماً، وهو ما أوصل إلى ملاحظة الفرق العددي الذي يفصل بين عنصر وآخر، ومن ثم توقّع العناصر غير المكتشفة بدقة، وتحديد أمكنتها على الجدول الدوري. وفي العام ١٩١٢، بلغ موسلي ٢٦ عاماً، ونشر بحثاً عن قانون الرقم الذري، مع ترتيب جديد للجدول الدوري للعناصر الكيمياوية يعتمد ذلك الرقم. ويتطابق مع الجدول المُبيّن في الشكل ١٣، بدءاً من الهيدروجين ووصولاً إلى العنصر ٩٢، حيث يبدأ الاختلاف. ولربما استحق جائزة نوبل تقديراً لهذا الإنجاز، لو انه عاش أكثر.

فمع اندلاع الحرب العالمية الأولى، تطوّع موسلي للمشاركة فيها. وبعد سنة، قُتل في غاليبولي، وله من العمر ٢٨ سنة.

ماندلييف في لندن: في زمن قريب من موعد توجّه الشاب موسلي إلى أوكسفورد، قصد العجوز السبعيني ماندلييف «المؤسسة الملكية» في لندن، لإلقاء محاضرة، ولتلقي جائزة «جمعية فاراداي الكيمياوية». ودرجت عادة تلك الجائزة على إرفاقها بمحفظة حرير تحتوي على بعض الهدايا من الذهب. وبكل تهذيب، أفرغ ماندلييف المحفظة من محتوياتها. ووضع الحرير الفارغ في جيبه مُعلناً أنه لن يقبل مالاً مقابل التحدث في مكان يستمدُّ جلاله من ذكرى فاراداي وإنجازاته.

القارات المتحركة: يصعب على متأمل خريطة المحيط الأطلسي ألا يلاحظ أن شواطئ الساحل الشرقي في أميركا الشمالية والجنوبية تنسجم شكلياً مع نظيراتها على المقلب الآخر في غرب أوروبا وأفريقيا. وأثار الانسجام تعليقات كثيرة، بمجرد ظهور الخارطة الأولى لذلك المُحيط في القرن السادس عشر. ولم يعتقد سوى نفر قليل، بأن الأمر يتعدّى المصادفة المحض.

وفي العام ١٩١١، عثر المختص في علم المناخ الألماني ألفرد فاغنر على مخطوطة لفتت انتباهه إلى تطابق آخر. فقد أظهرت تشابهاً بين المُتحجرات التي عُثر عليها في افريقيا الغربية ونظيراتها في البرازيل. ورأى كاتب تلك المخطوطة أن القارتين ربما اتصلتا قديماً عبر جسر ضخم. وراح فاغنر يُفكر في احتمال ثانٍ: إن القارتين ربما شكلتا مُسطحاً برياً متصلاً في غابر الزمان، ثم تباعدتا. ونظر فاغنر إلى القارات باعتبارها كتلاً صخرية، تطفو فوق أثقل الصخور التي تشكّل قاع المحيطات.

ومن ثم، شقّت الصخور القارية الأخف عبر تلك الصخور الأثقل، فكأنها تتزلج فوقها. ولم يستطع تخيّل الآلية التي سببت تلك الحركة الضخمة. وعُرفت نظريته باسم

«تباعد القارات». ولم تلق قبولاً. ولاقى فاغنر حتفه خلال مشاركته في بعثة استكشافية في القطب الشمالي في العام ١٩٣٠.

وفي تلك السنة عينها، تفكّر عالِم جيولوجي إنكليزي في آلية قد تُفَسّر نظرية فاغنر عن التباعد القاريّ. وارتكزت نظريته على القول بوجود تيارات متحرّكة في قلب الأرض، تحفّزها الحرارة الناجمة عن التحلل المستمر للمواد المُشعّة، تسير بالقارات صوب التباعد. ولم يقتنع المجتمع العلمي بتلك النظرية أيضاً. ولم تعثر تلك النظرية على ما يؤيدها، إلا بعد ثلاثين عاماً.

شقوق في قعر المحيط: حدث اختراق علمي متصل بنظرية تباعد القارات على يد الجيولوجي الأميركي هاري هاموند هيس، المولود في نيويورك في العام ١٩٠٦. وقد درس الجيولوجيا في جامعة «يال»، وعمل جيولوجياً في ما يُعرف راهناً باسم زامبيا. وفي العام ١٩٣٤، التحق بكلية برنستون، ثم أصبح في العام ١٩٥٠ أستاذاً للجيولوجيا فيها. ولاحقاً، عمل مستشاراً لدى «وكالة الطيران والفضاء الأميركية» (ناسا)، وساهم في برنامج الهبوط على سطح القمر.

في العام ١٩٥٦، برهن الجيولوجي وليام موريس إيوينغ أن سلسلة من ٥٥ ألف كيلومتر من الجبال المتصلة، تُزنِّر العالم في قيعان المحيطات. وفي العام ١٩٥٧، أظهر أن شقاً هائلاً يشطر تلك السلسلة، مُشكلاً أودية ضخمة. وجمع هيس براهين إيوينغ مع اكتشافه أن الصخور في قاع المحيط أصغر سناً من نظيراتها في القشرة القارية. ومكّنه ذلك من صوغ تفسير عن أصل قاع المحيط، عرضه في مؤلف تاريخ لأحواض المحيط، نشره في العام ١٩٦٢. وتذهب نظريته إلى القول إن الصخور الذائبة تجمّعت في الهضاب الجبلية التي شكّلت قاع المحيطات. ووَلَّد تشكُّل صخور جديدة ضغطاً على تلك الجبال، فأحدث صدعاً ضخماً. ونتيجة هذه العملية، التي سمّاها مدّ قيعان البحار، يحدث التباعد بين القارات.

في العام ١٩٦٣، نشر جيولوجيّان إنكليزيان، فريد فاين ودرموند ماثيو، نتائج أبحاثهما عن أثر الحقل المغناطيسي للأرض على الصخور في قعر المحيط. ومعلوم أن اتجاه قطبَي

الأرض يتعرض لتقلّبات مفاجئة بين الحين والآخر. وأظهر فاين وماثيو أن قعر المحيط يُظهر خطوطاً «مُتحجّرة» ومتناوبة تدل على أثر جاذبية الأرض. كما بيّنا أنها تتوزع بشكل متماثل بين جانبي الشق الكبير في قاع المحيط. ورأيا أن تلك الخطوط المُتحجرة تشكلت قبل زمن بعيد، عندما كان قعر المحيط في حال ذائبة. ومع نهاية الستينات، ظهر علم الصفائح التكتونية، وباتت نظرية التباعد القاري حقيقة مقبولة على نطاق واسع. ويتحدّث العلماء راهناً عن تلك الظاهرة بالقول إن القارات محمولة على صفائح تتحرّك بالتزامن مع عملية تشكّل الصخور في باطن الأرض. وفي المحيط الأطلسي، تبعد هذه الآلية الصفائح التي تحمل القارات، بمعدل لا يزيد على بضعة سنتيمترات سنوياً. وتتراكم تلك السنتيمترات عبر حقب زمنية مديدة، فتصنع مسافات شاسعة. وحيث تتصادم تلك الصفائح، يحدث واحد من شيئين. ففي بعض الأماكن، مثل الساحل الغربي لأميركا الشمالية، يؤدي ضغط الصفائح بعضها على بعض إلى زلازل. وفي أماكن أخرى، حيث تتصادم الصفائح التي تحمل شبه القارة الهندية مع تلك التي تحمل القارة الآسيوية، ينثني سطح الأرض، وتتكوّن الجبال.

الصفائح التكتونية: استعمل مصطلح الصفائح التكتونية للمرة الأولى في مقال صحافي في العام ١٩٦٨، وحلّ سريعاً محل «التباعد القاري» الذي لم يكن مصطلحاً علمياً بل وصفاً تقريبياً لظاهرة مرئية. تُعَرَّف القارات بحدودها مع المحيطات. ولا ترتبط تلك الحدود بالصفائح التكتونية التي تحملها. فمثلاً، تتماثل الصفيحتان التكتونيتان اللتان تحملان نيوزيلندة والمحيط الهندي! وتقع جزيرة أيسلندا على التقاطع بينهما. وتفوق الصفائح التكتونية القارات عدداً، إذ هنالك قرابة دزينة من الصفائح الكبرى، إضافة إلى عشرين أصغر منها. وتُقاس بالسنتيمترات الحركة السنوية للصفائح التكتونية التي تصنع مسافات كبيرة بتراكمها عبر ملايين الحقب من السنين.

تغفو أجزاء من قشرة الأرض تحت القطبين الجليديين، بعدما كانت، في زمن غابر،

تحت شمس المدار. وعندما تتصادم كتل ضخمة من الصخور، حتى من مسافة قريبة جداً، تولّد احتكاكاً وطاقة جبارة يؤديان إلى نتائج دراماتيكية. وتُعطي الزلازل والبراكين مؤشرات ملموسة إلى نتائج تلك التصادمات.

نطاق الزلازل الأرضية: تترافق بعض الزلازل مع ثوران البراكين، في حين ينجم معظمها عن تحرير ضغوط تجمّعت في القشرة الأرضية. وتتولد تلك الضغوط من حركة الصفائح التكتونية في سياقين: تصادم الصفائح التي تحمل القارات، وتكوّن صخور جديدة في باطن الأرض تندفع نحو السطح. يحدث ٨٠ في المئة من الزلازل المُدمّرة في نطاق حول المحيط الهادئ.

وتشهد المنطقة الممتدة بين البحر المتوسط والشرق الأوسط وجنوب آسيا العدد الباقي. ويقبع مركز الزلزال على عمق قد يصل إلى ٦٠٠ كيلومتر تحت سطح الأرض، في حين تقع بؤر بعض أشد الزلازل تدميراً على عمق لا يتجاوز ٥٠ كيلومتراً من سطح الأرض.

قياس الزلازل: تُسجل قوة الزلازل ومدتها بواسطة أداة تُسمّى «سيسموغراف». وكثيراً ما يُنسب الفضل في ابتكارها إلى الفيزيائي الإيطالي لويجي بالميري الذي صمم أداة لقياس اهتزاز الأرض في العام ١٨٥٥، معتمداً على اهتزاز الزئبق في أنبوب مقفل. ولا يتفق المؤرخون على أهمية إسهام بالميري، خصوصاً أن أداته لا تُفرّق بين الاهتزازات التي تنجم عن عوامل محلية، مثل مرور الشاحنات الثقيلة، والهزات الأرضية. وربّما الأداة الأولى لقياس الزلازل التي تستحق تلك التسمية هي تلك التي ابتكرها الجيولوجي الانكليزي جون ميلن في العام ١٨٨٠.

مقياس ريختر: يستعمل مقياس رخيتر راهناً لاحتساب شدّة الهزّات الأرضية. وابتكرها عالِم الزلازل الأميركي تشارلز ريختر في العام ١٩٣٥. وتكمن مشكلة قياس الزلازل في أن أقواها يفوق أضعفها بخمسمئة مليون مرة! وتجاوز ريختر تلك الإشكالية

بأن صمّم أداة تعتمد على الجداول الخوارزمية (اللوغاريتمية)، بحيث تتدرّج من صفر إلى عشرة، وتشير كل درجة إلى زيادة بمقدار عشرة أضعاف سابقتها. ويجسّ «مقياس ريختر» شدّة الهزّة الأرضية، ولا يقيس الطاقة التي تُصاحبها. لذا، يُنظر إلى الهزّة التي تسجل ست درجات على ذلك المقياس على أنها أقوى بعشر مرات من تلك التي تصل إلى خمس درجات، في حين أن الطاقة التي ترافق الأولى تزيد على طاقة الثانية خمسين مرة. ويوصف الزلزال بأنه «رئيسي» إذا سجل سبع درجات.

ويُسجّل زلزال من ذلك النوع مرّة كل شهر، في مكان ما من العالم. ويُسمّى الزلزال «كبيراً»، إذا وصل إلى ٨,٢٥ درجات، مما يجعله مئتي مرة أكبر من الرئيسي. ويُطلق زلزال من هذا النوع مرة كل عقد. ومنذ البدء في تسجيل الزلازل بهذه الطريقة، رُصد أكبر زلزالين عالمياً في «سانريكو» في اليابان في العام ١٩٣٣، الذي بلغت قوته ٨,٩ درجات، وفي جنوب التشيلي في مايو / أيار في العام١٩٦٠، الذي سجّلت قوته أولاً على أنها ٨,٦ درجات، ولكن تبيّن سريعاً انها تُمثّل ٩,٥ درجات.

لا تتطابق قوة الزلزال دائماً مع الدمار الناجم عنه. فلو أُطلقت شحنة متفجرة في البحر، لما أحدثت أكثر من ضجيج أمواج، لكنها تُسبب كارثة في مرفأ مزدحم. وبالمثل، فإن زلزالاً قوته ٧ درجات في قعر المحيط المتجمد الشمالي، قد يوقظ الدببة القطبية من نومها الشتوي.

ويؤدي زلزال مماثل قريب من سطح الأرض في طوكيو إلى كارثة هائلة. ويحفظ التاريخ الزلزال المُدمّر الذي ضرب مقاطعة شانشي الصينية في العام ١٥٥٦، باعتباره الأشد تدميراً. فقد نشر خراباً على دائرة قطرها ٥٠٠ كيلومتر. وقتل أكثر من ٨٠٠ ألف نسمة. لكنه لم يكن أعنف الكوارث الطبيعية في التاريخ.

التسونامي: يعتبر التسونامي (وهي كلمة يابانية تعني «الموجات الكبيرة») من أشد مظاهر اضطراب الأرض كارثية. وإذ تُطلقها الزلازل في البحار، فإن تلك الموجات تسافر

مئات الكيلومترات بعيداً من أمكنة انطلاقها. وتُبحر بسرعة تراوح بين ١٥٠ كيلومتراً و٨٠٠ كيلومتر في الساعة. وفي عرض البحر، تُشاهد على هيئة موجات متعاقبة لا يزيد ارتفاعها على المتر، بحيث يتعذّر على السفن ملاحظتها إلاّ بصعوبة.

وعند وصولها إلى الشاطئ، تبطئ من سرعتها، وتزيد من ارتفاعها، وتُراكِم موجاتها بعضها فوق بعض.

وعندما تضرب في مصبّ نهر، فإنها تتحوّل إلى جدران من ماء يراوح ارتفاعها بين ١٥ متراً و٣٠ متراً، فتجتاح مدناً. وتقذف بالسفن إلى قلب اليابسة. ولا توهن المسافات من عزمها. وعندما ضرب زلزال جزر «أليوتان»، قرب آلاسكا، في مايو / أيار ١٩٤٦، انطلقت موجة تسونامي، ووصلت إلى ارتفاع ١٥ متراً عند جزر هاواي التي تبعد ٣٠٠٠ كيلومتر.

ويعتبر التسونامي الذي ضرب سومطرة في أندونيسيا، في ديسمبر / كانون الأول من العام ٢٠٠٤، أشد الأمثلة رُعباً في التاريخ الحديث. وأطلق زلزال نجم عن تصادم الصفائح التكتونية التي تحمل الهند مع تلك التي تحمل بورما. ولا يزيد معدل حراك الصفائح الهندية على خمسة سنتيمترات سنوياً، لكنها تتحرك قريباً من سومطرة منذ قرن ونصف القرن، مما أدى إلى جمعها طاقة هائلة. في ٢٦ ديسمبر / كانون الأول، انفلتت تلك الطاقة نتيجة انزلاق حدث تحت قعر المحيط بنحو ١٠ كيلومترات، فتسببت بزلزال بلغت شدّته ٩ درجات على مقياس ريختر. وارتطمت موجة الطاقة بالصفائح البورمية الصغيرة، فقذفتها إلى الأعلى ١,٥ متر، في سرعة البرق. وارتفعت معها كميات هائلة من الماء، أحدثت موجات تسونامي في عرض المحيط، بارتفاع متر، تلاطمت عبر المحيط الهندي. ووصل بعضها إلى الصومال، على بُعد ستة آلاف كيلومتر، فقتلت مئتَي شخص. وتسببت بكارثة شاملة عند سواحل سومطرة. فقد أزالت مدينة باندا آتشيه التي يبلغ عدد قاطنيها ٤٠٠ ألف شخص، من الوجود في بضع دقائق. وقتلت ٩٠ ألفاً من سكانها. وفاق عدد قتلى التسونامي في المحيط الهندي مئتَي ألف، مما جعلها أشد الكوارث الطبيعية تدميراً في القرون الخمسة الماضية.

بعض أشهر الزلازل

السنة	الموقع	قوة الزلزال	عدد الضحايا
٨٥٦	دامغان، إيران	-	٢٠٠ ألف
١٥٥٦	شانسي، الصين	-	٨٠٠ ألف
١٧٣٧	كالكوتا، الهند	-	٣٠٠ ألف
١٧٥٥	لشبونة، برتغال	٨,٧*	٧٠ ألفاً
١٨١٢	نيو مدريد، أميركا	٧,٩*	عدد قليل
١٩٠٦	سان فرانسيسكو، أميركا	٧,٧*	٣٠٠٠
١٩٢٠	غانسو، الصين	٨,٦*	٢٠٠ ألف
١٩٣٢	غانسو، الصين	٧,٦	٧٠ ألفاً
١٩٣٣	ساتريكو، اليابان	٨,٩	٣ آلاف
١٩٦٠	جنوب التشيلي	٩,٥	٦ آلاف
١٩٧٠	شمال البيرو	٧,٧	٨٥ ألفاً
١٩٧٦	تانغشان، الصين	٨,٥	٢٥٠ ألفاً**
١٩٨٨	شمال غرب أرمينيا	٦,٨	٥٥ ألفاً
١٩٩٠	شمال إيران	٧,٧	٣٥ ألفاً
١٩٩٥	كوبيه، اليابان	٦,٩	٥ آلاف
١٩٩٩	شمال غرب تركيا	٨,٢	٢٠ ألفاً

*عدد تقريبي.

**ربما أقل من العدد الحقيقي.

الانفجارات البركانية: تحْدُث كثير من الزلازل، خصوصاً في مناطق المحيط الهادئ من أندونيسيا غرباً إلى البحر المتوسط، نتيجة أنشطة بركانية. هي ليست مصادفة. تتولّد الزلازل وحرارة البراكين من القوى عينها. ولذا، تحصل معظم الأنشطة البركانية، كحال الزلازل، في دائرة حول المحيط الهادئ. وبذا، استحقت اسم «حلقة النار».

فحتى وقت قريب، اعتقد العلماء بأن سيل الحُمم البركانية (يُسمّى «لافا») الذي يقذفه ثورانها، يتألف من صخور ذائبة في قلب الأرض، تشقّ طريقها صعوداً إلى القشرة الأرضية. وهجر العلماء هذه النظرة. ولا تزال صالحة لتفسير عدد قليل من الانبثاقات البركانية، مثل تلك التي تحصل في هاواي، حيث تُغطي قشرة رقيقة نسبياً من الأرض «النقاط الساخنة» في جوفها. لكن الطاقة التي تُغذي نيران البراكين في الحلقة التي حول المحيط الهادئ، تأتي من اصطدام طبقتين من الصفائح التكتونية بطريقة تؤدي إلى اندفاع إحداهما تحت الاخرى. ويوّلد هذا الاحتكاك حرارة هائلة تذيب الصخور تحته.

ينتشر قرابة ٥٠٠ بركان نشط، أو يحمل النشاط في كوامنه، حول الكرة الأرضية. ومن الصعب التثبّت من العدد الحقيقي، لأن البركان الذي توقّف عن النشاط منذ مئات السنين ربما كان خامداً أو كامناً بسكون! ومثلاً، ساد الاعتقاد طويلاً بأن البراكين الرئيسة في الولايات المتحدة قد خمدت. وفي العام ١٩٨٠، انفجر بركان «ماونت سانت هيلين» في ولاية واشنطن، بعد أن ساد الظن بخموده لأنه لم يصدر منه نشاط طوال ١٢٦ سنة. وبلغ ارتفاع انبثاقته الفجائية تلك نحو ١٢٠ متراً. وتهدم جزء من الجبل الذي كانه نتيجة استيقاظه من سكونه السابق.

ولا تُقارن حاله بما حدث في مضيق «سوندا» في أندونيسيا، في ٢٧ اغسطس/آب ١٨٨٣ عندما اختفت جزيرة «كاراكاتوا» إثر انفجار صاعق لبركان فيها، قذف عشرين كيلومتراً مكعباً من الصخور والغبار إلى السماء. وسمعت أستراليا صوت انفجاره الفجائي، على بعد ٣ آلاف كيلومتر من جنوبها الشرقي، وفي جزر رودريغز التي تبعد ٥ آلاف كيلومتر في جنوبها الغربي. وأطلق موجة تسونامي وصل ارتفاعها إلى ٤٠ متراً، فضربت سواحل جزر جاوا وسومطرة.

وأزالت المياه مدناً ساحلية في تينك الجزيرتين، فقتل قرابة ٣٦ ألفاً. ولا يُقارن انبثاق «كاراكاتوا» بالاستيقاظ المُفاجئ لبركان يبعد ١٢٠٠ كيلومتر في جزيرة «سومباوا»، في ١١ أبريل/نيسان ١٨١٥.

ففي ذلك اليوم، انفجر بركان «تامبورا» ليدخل في أقوى هيجاناته خلال ٢٠ ألف

سنة. وقذف بنحو ١٢٠ كيلومتراً مكعباً من الصخور والغبار، وانهار الجبل كله، علماً أن ارتفاعه يزيد على ٤٠٠٠ متر. وقتل ١٠ آلاف، وعانى ٩٠ ألفاً من المجاعة والأمراض، بعد أن أُرغموا على النزوح من مواطنهم. وانتشرت سحابة من غبار ورماد على نطاق واسع جداً فأغتَمت الشمس. وفي العام ١٨١٦، أخفقت المحاصيل الزراعية في كثير من البلدان. ولفترة طويلة، ظل الناس يذكرون ذلك العام باسم «ألف وثمانمئة ومت برداً».

الفحم الحجري والبترول: ينظر العلماء إلى حقول الفحم الحجري المنتشرة في الأرض، على أنها جزء من إرث الحراك العنيف للقشرة الأرضية في الماضي الغابر. ليس الفحم الحجري معدناً. إنه البقايا المُتحجرة لنباتات عاشت قبل زمن سحيق يراوح بين ٢٠٠ مليون و٣٠٠ مليون سنة، في الحقب البرمية والفحمية. تنمو جذوع الأشجار وأوراقها التي تترك آثارها على الفحم الحجري، في مناخ رطب ودافئ. وعند موتها، تتعفن الأشجار في التربة، فتخلّف كميات كبيرة من الخثّ، وهو نسيج نباتي نصف متفحم. ومع الحراك العنيف في قشرة الأرض، تغوص كميات الخُثّ تحت البحر. وعلى مدار ملايين السنوات، تراكمت فوقها طبقات كثيفة من التراب والحجارة.

وأدى الضغط المتواصل إلى تحوُّل تلك المواد العضوية إلى فحم حجري. وأخيراً، أدّت حركة الارتفاع في قيعان المحيط إلى إعادة الطبقة التي تحوي فحماً حجرياً إلى سطح القشرة الأرضية. وولّدت عملية مشابهة حقول البترول في تكساس وآسيا الوسطى والخليج، والتي لم تأت من نباتات عاشت على اليابسة، بل من نباتات وحيوانات عاشت في البحر.

القشرة الأرضية: يتألف معظم المواد التي تتكّون منها القشرة الأرضية، من عدد صغير من العناصر، أبرزها الأوكسجين والسيليكون، على النحو الآتي:

العنصر	النسبة المئوية (بالوزن)
اوكسجين	٤٦,١
سيليكون	٢٨,٢
حديد	٥,٦
كالسيوم	٤,٢
صوديوم	٢,٤
ماغنيزيوم	٢,٣
بوتاسيوم	٢,١
ألومينيوم	٠,٨
تيتانيوم	٠,٦
مواد أخرى	٧,٧
	١٠٠

يرجع ارتفاع محتوى السيليكون في الصخور على سطح الأرض إلى شيوع معدن السيليكا الذي يتوافر على هيئة رمل وكوارتز وغيرهما. ويُعتقد أن مادة الحديد هي جزء أساسي من نواة الأرض.

قياس الصلابة: تُقاس صلابة الصخور بواسطة «مقياس موهس» الذي صنعه عالِم المعادن الألماني فريدريك موهس (١٧٧٣ ـ ١٨٣٩). وقدّمه في كتاب نُشر عام ١٨١٢. ويرتكز على لائحة مرجعية من عشر مواد شائعة، كالآتي:

١ ـ تالك

٢ ـ جبس

٣ ـ كلس

٤ ـ فلورايت

٥ ـ أباتايت

٦ ـ فيلدسبار

٧ ـ كوارتز

٨ ـ توباز

٩ ـ ياقوت

١٠ ـ ألماس

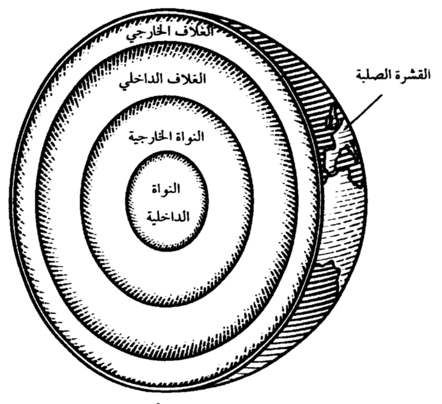
وتُحتَسب صلابة المواد التي لا ترد في قائمة موهس، قياساً على قدرتها على خدش المعادن الواردة في تلك القائمة. ومثلاً، يُعطى المعدن الذي تتوسط صلابته بين الفيلدسبار والكوارتز ٦٫٥. أما الأظافر ٢٫٥، فتتوسط صلابتها بين الجبس والكلس.

وتعتمد صلابة المواد الشائعة الاستخدام على تركيبتها. ويستطيع أشد أنواع الزجاج صلابة، أن يخدش الحديد الخفيف الذي يتمتّع بصلابة ٥. وتُصنع معظم السكاكين من حديد تصل صلابته إلى ٦٫٥ مما يجعلها قادرة على خدش كثير من أنواع الزجاج.

سبر بواطن الأرض: استنبط علماء الجيولوجيا عدّة طرق لاستعمال مقياس الزلازل، بما فيها استخدامه لسبر باطن الأرض. وتتضمن تلك العملية اصطناع هزّات خفيفة، ثم تتبع مسار عبور موجاتها لطبقات الأرض المختلفة، وصولاً إلى تلاشيها. وتتلقى تلك التجارب معلومات تكميلية من الأبحاث عن الموجات التي تصنعها الهزّات الأرضية الفعلية.

ونتيجة تلك الدراسات، تراكمت معلومات لا بأس بها عن أعماق الأرض، بما في ذلك الفرق بين قشرة الأرض ونواتها. ويميل معظم الجيولوجيين إلى قبول الوصف الآتي عن باطن الأرض:

	السماكة كيلومتر	الحال	الكثافة غرام / سنتيمتر[٣]	الحرارة درجة مئوية
القشرة	٠ ـ ١٥	صلبة	٢٫٨	إلى حد: ٥٥٠
الغلاف الخارجي	نحو ٦٥٠	ذائبة	٤٫٣	إلى حد:٨٠٠
الغلاف الداخلي	نحو ٢١٠٠	صلبة	٥٫٥	إلى حد:٢٥٠٠
النواة الخارجية	نحو ٢١٠٠	ذائبة	١٠	إلى حد:٣٠٠٠
النواة الداخلية	نحو ١٥٠٠	صلبة	١٣٫٥	إلى حد:٢٧٥٠



الشكل ١٧: باطن الأرض.

الماء والملح: مقارنة بكواكب أخرى، يبدو كوكب الأرض رطباً. تُغطي المحيطات أكثر من ٧٠ في المئة من سطحه. وتُبخّر أشعة الشمس تلك المياه، فيعاود بعضها السقوط مطراً فوق المحيط. وتحمل الريح بخار الماء فوق اليابسة، حيث تتكثف فتسقط أمطاراً وثلوجاً. وتُبخر الشمس كثيراً من تلك المياه أيضاً، لكن بعضها يبقى في التراب. تغذي مياه التربة النباتات التي ترد بعض الماء إلى الجو عبر أوراقها. ويجري بعض الماء أنهاراً فتعيد الماء إلى البحر. ويتسرّب بعض الماء إلى أعماق الأرض، حيث يتجمّع مياهاً في جوفها. وتحمل المياه الجارية على سطح الأرض تراباً وصخوراً في مجراها، فتغير من ملامح اليابسة، مع كرّ العصور.

يتألف ٣ في المئة من وزن ماء البحر من مواد صلبة يُكوّن الملح ثلاثة أرباعها. ويُضاف ملح كثير، يأتي من اليابسة، إلى مياه المحيط، لكن نسبته ليست مرتفعة. ولا يرتفع الملح مع بخار الماء.

ولسنوات كثيرة، جهل الناس سبب احتواء البحر على كمية قليلة من الملح، رغم عدم شموله في عملية التبخير المستمرة منذ مئات ملايين السنين. ولم يُحلّ اللغز إلا في

السبعينات من القرن العشرين، حين عُثر على مصارف عميقة في المحيط. وتغوص مياه كثيرة إلى باطن الأرض عبر تلك الشقوق في قاع المحيط، ثم تظهر لاحقاً، بعد ملايين السنين، على شكل بخار مندفع من البراكين، في حين يترسب الملح في الطبقات التي يعبرها الماء ليصل إلى باطن الأرض.

ويبدو أن تركيب مياه البحار لم يتغيّر تغيّراً كبيراً خلال مئة مليون سنة. ويشمل ذلك نسبة تركيز الملح فيها، إضافة إلى المواد المُذابة الأخرى، والمواد غير القابلة للذوبان التي تنصب من اليابسة إلى البحار على الدوام. ولا تستمر تلك المواد مُعلقة في البحر طوال الوقت، بل تترسب تدريجاً في قاع المحيط. وتمثّل المواد الناجمة عن الصناعة مشكلة مختلفة؛ فمع زيادة إنتاج الإنسانية للبلاستيك والأسمدة والأدوية والنفايات المعدنية وغيرها، أخذ البحر ينوء بأثقال تلك المواد الكيمياوية المؤذية. وتعاني الأسماك والشعاب المرجانية التي تعيش في المياه غير العميقة بفعل هذا الغزو. تتّخذ ثلاثة أرباع الماء العذب على اليابسة شكل الثلج، وليس الماء السائل. وتضم الدائرة القطبية الجنوبية ثلثي الماء العذب في العالم. وتبلغ سماكة مسطحها الثلجي قرابة ٢٠٠٠ متر. ويبلغ عمرها ملايين السنين. وعلى عكس ما يفكر فيه كثيرون، لا يسقط سوى ثلج قليل فوق القطب الجنوبي الذي يشبه صحراء جليد واسعة. وعلى نقيض الصحراء الحديثة التكوين، فإن الدائرة القطبية تصحرت منذ زمن غابر.

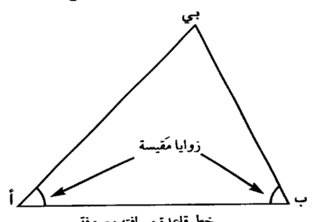
الأرصفة المَرجانية: تعطي الأرصفة المَرجانية التي تنمو في البحار المدارية، مشهداً مثيراً لهواة البحار. وتتألف من ملايين الهياكل للمرجان الذي يعتبر من الكائنات البحرية البسيطة. ويصنع المرجان هيكله حول نفسه. ويتفرع من ذلك الجسم الرئيس على نحو يُشبه البرعم الذي يُكوّن هيكلاً حول نفسه، وهكذا دواليك. ويصبح شكلها قريباً من شكل الصخور المتشعبة. وبمرور الوقت، يتراكم كمّ كبير من الهياكل المرجانية المتلاصقة الشعاب، فتصنع رصيفاً. يحيا المَرجان في البحار الضحلة والدافئة حتى عمق تسعين متراً. ويتمدد بعض الأرصفة إلى عمق ١٥٠٠ متر.

ولم يكن سبب هذا التناقض معروفاً. وليس ثمة نظرية مُسلّم بها لتشرح سبب تكوّن الأرصفة المرجانية. وتبدو بعض تلك الأرصفة وكأنها تدين بوجودها للتذبذب في مستوى مياه البحار، خصوصاً عبر العصور الثلجية. ولعل النظرية الأكثر تماسكاً بالنسبة إلى معظم الأرصفة المَرجانية هي تلك التي تقدّم بها تشارلز داروين في كتابه «بُنية الأرصفة المَرجانية وتوزيعها». واقترح داروين أن الأرصفة تكوّنت في مناطق من قاع البحر تعرّضت لضغوط الأنشطة البُركانية. ومع غرق الأرصفة، تراكمت أجيال من المَرجان التي صنعت منازلها حيث قضى أجدادها!

المثلّث واختلاف المنظر (بارالاكس): تُعطي الرياضيات أحياناً حلولاً بسيطة لأسئلة مربكة. لنفترض أن من المطلوب معرفة المسافة التي تفصلنا عن جبل بعيد (بي). يقدّم المثلث حلاً سهلاً. فبمعرفة طول خط قاعدة المثلث، أي المسافة بين نقطتي «أ» و«ب»، يبدأ حل المشكلة.

فمن النقطة «أ» يمكن قياس الزاوية بين «بي» و«ب»، ومن النقطة «ب»، تُقاس الزاوية بين «أ» و«بي».

وبذلك يصبح رسم المثلث «أ ب بي» سهلاً، وكذلك حساب المسافة بين النقاط الثلاث. يعتبر المثلث أساساً في رسم الخرائط. وتُسمى الزاوية بين النقطتين أ ب والنقطة بي «اختلاف المنظر» (بارالاكس) بالنسبة إلى ذلك الجبل.



الشكل ١٨: أساس التثليث.
حساب المسافة بين قمة الجبل وخط معروف.

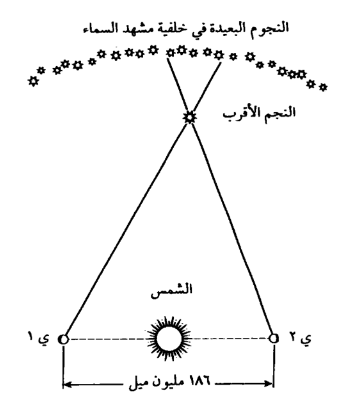
لا تقتصر فائدة احتساب البارالاكس على قياس المسافات على سطح الأرض. ففي العام ١٥٠ للميلاد، استعملها الفلكي الإغريقي هيباركوس لحساب المسافة من القمر، باستعمال حجم ظلّ الأرض أثناء الخسوف. وقدّر أن القمر يبعد مسافة مقدارها ٥٩ ضعفاً من شعاع الكرة الأرضية عند خط الاستواء. وكَون الحساب السائد حينذاك قدَّر شعاع الأرض بـ ٦٤٠٠ كيلومتر، وجد هيباركوس أن القمر يبعد ٣٧٨ ألف كيلومتر. ولا يزيد الفرق بين حساباته وتلك التي يمتلكها العلم المُعاصر على ٢ في المئة.

قياس المسافات الفلكية: نُظر إلى قياس المسافة بين الأرض والقمر، باستعمال طريقة المثلّث واختلاف المنظر (بارالاكس)، باعتباره إنجازاً قبل ألفي سنة. وظلّ الأمر كذلك حتى العام ١٦٧٢، حين قرر العلماء قياس المسافة بين الأرض والشمس. وبعد إنجازه، أصبح من السهل تكرار ذلك الحساب مع النجوم الأخرى. لكن تلك النجوم أبعد من الشمس، الأمر الذي اقتضى التوصّل إلى خط قاعدة أطول، ربما أطول مما يمكن تحقيقه على سطح الكرة الأرضية. وحتى لو حُلّت مشكلة خط القاعدة، تبقى معضلة البحث عن مثلّث يمكن احتساب مقدار البارالاكس فيه.

ولحسن الحظ، توصّل العلماء إلى حلّ مشكلة خط القاعدة. فقد فطنوا إلى إمكان الاستفادة من عرض مدار الأرض حول الشمس. وقد علموا أن الأرض تبعد عن الشمس ١٥٠ مليون كيلومتر. فإذا أُجريت قياسات تفصلها ستة أشهر، وهي المُدّة اللازمة لتصل الأرض إلى النقطة المُعاكسة لها في المدار، يُصبح طول خط القاعدة ٣٠٠ مليون كيلومتر. ومع ذلك، بقيت الزاوية صغيرة. وفي العام ١٨٣٨، توصّل فلكي ألماني إلى حلّ تلك المُعضلة. كان اسمه فريدريك ويلهام بيسيل.

وُلِدَ بيسيل ببروسيا في العام ١٧٨٤. عمل محاسباً لكنه علّم نفسه الحساب والفلك. وعند بلوغه العشرين، أعاد النظر في حساب مدار مُذنّب هالي. وكوفئ عن ذلك بتعيينه في مرصد فلكي.

وفي العام ١٨١٠، كلّفه فريدريك ويلهلم الثالث بإنشاء مرصد في كوينغسبرغ في بروسيا. ثم شغل منصب مدير ذلك المرصد ثلاثين سنة.



الشكل ١٩: استعمال طريقة اختلاف المنظر (بارالاكس) لقياس المسافة إلى نجم.
عندما تُرصد من النقطتين «ي١» و«ي٢»، اللتين تقعان على الطرفين المتعاكسين لمدار الأرض، يظهر النجم الأقرب في مكان مختلف قياساً على خلفية من نجوم أكثر بُعداً.

تتحرّك بعض النجوم فعلياً بالنسبة لنظيراتها، ولو على نحو طفيف أحياناً، من دون أن تعني تلك الحركة أنها أقرب إلى الأرض من غيرها. ولذا، فإن أفضل طريقة لقياس البارالاكس تتمثّل في العثور على نجم ذي حركة فعلية كبيرة وقابلة للقياس. وفي العام ١٨٨٣، ركّز بيسيل اهتمامه على نجم اسمه «سيجني ٦١» في مجموعة البجعة. ويتمتّع بحركة فعلية واسعة، على رغم ضآلة ضوئه. وباستعمال أداة طوّرها بنفسه، نجح في قياس البارالاكس عند «سيجني ٦١» بالنسبة إلى نجمين ثابتين قريبين منه. وتبيّن أن الزاوية صغيرة، إذ لم تزد على ١٠٠٠٠ / ١ درجة، تعادل قطر قطعة من العملة المعدنية من مسافة ٥ كيلومترات. ودلّت تلك الزاوية عينها إلى أن النجم «سيجني ٦١» يبعد مسافة ٥٦

مليون مليون كيلومتر، أي ما يُساوي ٥,٨٩ سنة ضوئية. خلال العقود السبعة التي تلت هذا الاكتشاف، اكتشف كثير من النجوم التي تملك بارالاكس قابلاً للقياس. ووصل العدد إلى ٧٥ في العام ١٩٠٠. لم يكن أيّ منها كمثل قُرب «سيجني ٦١». إن أقرب نجم للأرض هو «ألفا سانتوري» الذي يبعد ٤ سنوات ضوئية. ومع ذلك، فإن تلك المسافة تزيد بمرتين على الحدود التي تخيّلها إسحق نيوتن للكون!

أثر الدوبلر: تبدو تلك التجربة مألوفة لكل من قصد محطة قطارات، وتتلخّص في أن صوت صافرة القطار يبدو أكثر ارتفاعاً عندما يقترب، وللمسافة عينها، مما يكون عليه عندما يبتعد. وتنجم عن تدافع موجات الصوت وتجمّعها عند القدوم، وتباعدها وانفكاكها عند الابتعاد، ظاهرةٌ تُسمّى «أثر الدوبلر». ويشير الاسم إلى مكتشفها الفيزيائي النمسوي كريستيان دوبلر. وُلِدَ دوبلر في سالزبورغ في العام ١٨٠٣. وعمل بروفسوراً في «معهد الفيزياء» في فيينا.

رأى دوبلر أن تردد موجات الصوت الطالع من مصدر متحرّك تعتمد على حركة المصدر. وكلما اقترب المصدر، وصلت الموجات إلى الأُذن في أوقات متقاربة. ويحصل العكس مع ابتعاد المصدر. وتُسجّل الأذن تقاصر الوقت بين الموجات باعتباره صوتاً أشد قوة.

وفي العام ١٨٤٢، وضع معادلات رياضية تربط بين الصوت المتحرك وتردد الموجات الواصلة إلى الأذن. وبرهنت التجربة الأمر، بعد سنتين، على نحو استعراضي. فقد جابت شاحنة تحمل عازفي ترومبيت في الشوارع. وعند اقترابها، أمكن سماع صوت الموسيقى أعلى بكثير مما هو عند ابتعادها، بالنسبة إلى من يقف في النقطة عينها من الشارع.

وانتقل دوبلر إلى الضوء، مقترحاً أن الضوء الصادر من مصدر يقترب من عين الرائي، يبدو أشد التماعاً من ضوء مبتعد عنه، وللمسافة عينها. وفي حال الضوء، يؤدي الابتعاد إلى تغيّر الضوء صوب الأحمر. وفي العام ١٨٦٨، قدّم الفلكي البريطاني وليام

هيغنز إثباتاً على تلك الفكرة، عندما رصد «الانتقال إلى الأحمر» في طيف النجم «سيريس».

وبالمصطلح التقني، تُسمّى تلك الظاهرة في حال الضوء «أثر دوبلر ـ فيزاو». ويُشير الاسم إلى الفيزيائي الفرنسي هيبوليت فيزاو الذي أظهر أن أثر الدوبلر في حال الضوء، يُترجم إلى انتقال في خطوط الطيف الضوئي. وفي حال ابتعاد نجم، يظهر الأمر على هيئة انتقال في خطوط طيف يميل ضوؤه صوب اللون الأحمر عند نهاية تدرّج الضوء المرئي. لذا، يُشار إلى ذلك أيضاً بمصطلح «الانتقال إلى الأحمر». وفي المقابل، تتجه خطوط طيف الضوء صوب الأزرق، لدى صدورها من نجم مقترب، ما يُسمّى أيضاً «الانتقال إلى الأزرق». ويساوي الانتقال، في الحالين كليهما، سرعة النجم. ومكّن ذلك هيغنز من احتساب سرعة ابتعاد النجم «سيريس» من الأرض، والأحرى سرعة تباعدهما.

هنـريبيتا ليفت وكومبيوترات هارفارد: في القرون الثلاثة التي تلت كوبرنيكوس، برهنت مجموعة من الاكتشافات أن الشمس ليست بالأهمية التي كثيراً ما ظُن أنها تحوزها. وتبيّن أن النظام الشمسي ليس سوى جزء فائق الضآلة من مجرّة درب التبانة. وفي فجر القرن العشرين، بدت أبعاد الكون مُذهلة الاتساع في عيون الفلكيين، لكن الحكاية لم تكن عند أشد فصولها إثارة.

ففي العام ١٨٧٦، عُيّن بروفسور من «معهد ماساشوستس للتكنولوجيا» يبلغ الثلاثين من العمر، إدوارد تشارلز بيكيرنغ، مديراً لمرصد جامعة هارفارد الأميركية. وفي العام ١٨٩١، وبمعاونة من شقيقه الصغير وليام، بنى مرصداً متقدماً في «أركيبا» جنوب البيرو. وأظهر بيكرينغ حماسة لطريقة مبتكرة في تصوير السماء. وابتكر أداة حسّاسة لقياس شدّة الضوء، واستخدمها في مسح دقيق لتجمّعات النجوم شمل ٤٥ ألف نجم. وتولّى فريق من النساء، أُطلق عليهن تحبباً اسم «كومبيوترات هارفارد»، التدقيق في تلك الصور. وبرزت بينهن هاوية لعلم الفلك، اسمها هنريبيتا ليفت، التي تطوعت لذلك العمل مجاناً.

وسرعان ما أظهرت قدرات متطورة، فعيّنت مسؤولة عن وحدة قياس ضوء النجوم في ذلك المرصد.

انصب اهتمام ليفت على درس مجموعة النجوم المعروفة باسم «سيفيد المُتغيّرة». ويشير الاسم إلى نسبتها للنجم «دلتا سيفي» التي اكتشفها جون غودريكه في ثمانينات القرن الثامن عشر. وتُظهر مجموعة «سيفيد المتغيّرة» نمطاً من السلوك يتميّز بارتفاع مُفاجئ في التماع ضوئها، يليه خفوت تدريجي.

وفي العام ١٩٠٢، شرعت ليفت في درس مجموعة «سيفيد المُتغيّرة» التي تقع في «السحابة المجلانية الصُغرى» وهي غمامة من أكداس النجوم ركّز عليها مرصد «أركيبا» تيليسكوباته القوية.

وتتواتر التماعات مجموعة «سيفيد المُتغيّرة» على نحو دوري غير منتظم، إذ تراوح «الدورة» بين يوم و٣ أشهر. وتنبهت ليفت إلى وجود علاقة بين مدة الدورة وشدة الضوء الصادر عن تلك المجموعة. وفي العام ١٩١٢، نشرت مقالاً علمياً تضمّن رسماً بيانياً يظهر أن العلاقة بين دورة مجموعة «سيفيد المُتغيّرة» ولمعانها ترتسم في خط مستقيم. وأثبت الاكتشاف أهميته لأنه فتح درباً جديدة في احتساب المسافة إلى النجوم البعيدة.

لمعان النجوم ومسافاتها: يمكن صوغ التسلسل المنطقي الذي يؤدي إلى تحوّل ما اكتشفته ليفت إلى مقياس لبعد النجوم، على النحو الآتي:

١ ـ تعتمد شدّة اللمعان الظاهري، وليس الحقيقي، لضوء النجم على المسافة التي تفصله عن الأرض.

٢ ـ تبعد «السحابة المجلانية الصُغرى» عن الأرض مسافة بعيدة جداً، حيث يمكن اعتبار نجومها على المسافة عينها من الأرض.

٣ ـ إذاً، تعكس العلاقة بين شدّة اللمعان الظاهري لمجموعة «سيفيد المُتغيّرة» ودورة تكرارها، علاقة مماثلة بين ضوئها الحقيقي وتلك الدورة عينها.

٤ ـ إذا أمكن احتساب المسافة بين نجم أو اثنين من مجموعة «سيفيد المُتغيّرة» بطريقة

أخرى، مثل طريقة «اختلاف المنظر» (بارالاكس)، يمكن عندئذ التعرف إلى شدّة ضوئها الحقيقي بالاستناد إلى أبعادها الفعلية. كذلك يمكن اعتماد النجوم التي قِيْسَ البارالاكس بواسطتها، كنقاط «مرجعية».

٥ - إن المقارنة بين دورات تلك النجوم المرجعية والتماعها الحقيقي، ممكنة من رسم مقياس مرجعي. وبالاستناد إلى ذلك المقياس، يجوز حساب الالتماع الحقيقي في أيٍّ من نجوم مجموعة «سيفيد المُتغيّرة» من خلال دورته.

٦ - تؤدي المقارنة بين الشدّة الحقيقية لضوء مجموعة «سيفيد المتغيّرة» وشدّة ضوئها الظاهري، إلى احتساب المسافة التي تفصلها عن الأرض.

أوراق آينشتاين المهمة: في العام ١٩٠٢، فيما انطلقت هنرييت ليفت في أبحاثها عن المجموعة النجمية «سيفيد المُتغيّرة»، وصل شاب عمره ٢٣ عاماً ليعمل مُدقّقاً في «مكتب براءات الاختراع السويسري» في زوريخ. كان اسمه ألبرت آينشتاين. وُلِدَ في «أولم» بألمانيا، في العام ١٨٧٩. ودرس في ميونيخ حيث امتلك والده مصنعاً صغيراً. ضاق ذرعاً بالدراسة بصورة مبكرة، لكن أحد أعمامه نجح في إثارة اهتمامه بالرياضيات التي تحوّلت شغفاً رافقه طوال حياته. وعندما انتقلت عائلته إلى إيطاليا، تابع آينشتاين تعليمه في «أرو» بسويسرا. وعند بلوغه السابعة عشرة، التحق بـ«المعهد الفيدرالي للتكنولوجيا» في زيوريخ، أملاً في أن يصبح مُدرساً في المستقبل. وأحسن في الكثير من امتحاناته، ولكن طباعه تركت أثراً سلبياً عند مُدرسيه حتى أن أحدهم قال له بوضوح: «لن تنجز شيئاً، يا آينشتاين».

أبدى آينشتاين ميلاً إلى المسالمة، وهاجر إلى سويسرا ليتفادى الخدمة العسكرية. وعند تخرجه في العام ١٩٠٠، أصبح مواطناً سويسرياً. ولم ينجح في نيل منصب أكاديمي. أسعفه الحظ، ونفوذ صديق لأبيه، فعيّن موظفاً في مكتب براءات الاختراع.

وقد لاءمته الوظيفة كثيراً. فلم يكن عمله مرهقاً، وهو ما أتاح له وقتاً طويلاً للتأمل في مسائل الرياضيات. ومثل نيوتن، وهو في مثل عمره تقريباً، انغمس في محاولة إيجاد

حلول لمجموعة من المسائل المُعقّدة في الفيزياء النظرية، متسلحاً بالورقة والقلم وحدهما.

في العام ١٩٠٥، بلغ السادسة والعشرين، وفاجأ المجتمع العلمي بنشر سلسلة من أوراق البحوث الأصيلة التي نُشرت في «كتاب السنة في الفيزياء» في ألمانيا. تناول أحد البحوث الأثر الضوئي للكهرباء، مبيّناً أن سقوط الضوء على بعض المعادن، يحفز خروج الإلكترونات منها. وتُقدّم هذه المقولة إسهاماً أصيلاً في النظرية التي تعامل الضوء باعتباره سلسلة من «طلقات» من الطاقة. ولاحقاً، كوفئ ذلك العمل عندما مُنح آينشتاين جائزة نوبل للفيزياء عنه، في العام ١٩٢٦.

وفي ورقة ثانية، عرض آينشتاين تحليلاً للحركة البروانية، وهي ذلك النوع الذي يتضمن انتقالاً مفاجئاً وتغييراً غير متوقع في المسارات، كحال تناثر طلع الزهور في الهواء أوان التلقيح، أو كتلك التي تسلكها حبات الرمل قبل أن تترسب في قعر الإناء.

وشرحت تلك الورقة الطريقة التي تسلكها الجسيمات (الطلع، التراب...) من مصدرها إلى مستقرها. ولعبت تلك الورقة دوراً مهماً في رسم صورة الذرّة في القرن العشرين.

وفي ورقة أخرى، قدّم آينشتاين نظرية مبتكرة سمّاها «النظرية الخاصة في النسبية». وأثار فيها أسئلة أساسية عن نظرية نيوتن للجاذبية، التي لم ينتقدها أحد طوال ٢٥٠ سنة. لا تتعامل النظرية الخاصة مع الجاذبية. وفي خطوة تالية، في العام ١٩١٦، تحدّى آينشتاين نظرية نيوتن عن الجاذبية الكونية في بحث عنوانه «النظرية العامة في النسبية».

تعاملت النظرية الخاصة مع مفهومي الزمن والحركة. وأولت مكانة مركزية لسلوك الضوء، وللطريقة الغرائبية التي تتصرف بها الأجسام عندما تقترب سرعتها من سرعة الضوء.

وبحسب تلك النظرية، تحوز سرعة الضوء دلالة مميزة. ففي المقام الأول، أن سرعة الضوء ثابتة في الكون. وبمعنى آخر، يحصل كل من يُراقب سرعة الضوء على النتيجة عينها، بغض النظر عن موقعه وعن سرعته أيضاً. وفي المقام الثاني، فإنها لا تتأثر بسرعة الجسم الذي تصدر منه. مثلاً، عندما تُطلق البحرية مدافعها، فإن سرعة القنابل تتحدد

بسرعة القذيفة في ماسورة المدفع وحركة المركبة التي أطلقت النار.

وبذا، بات من الممكن تصميم تجارب لاختبار مقولات آينشتاين. وفي السنوات التي تلت نشر تلك النظرية، أُجريت مجموعة من التجارب الحذرة من أجل التثبت من مقولات آينشتاين. ودعمت نتائج التجارب ما فكّر فيه آينشتاين. وبذا، صارت النظرية الخاصة للنسبية من أركان الفيزياء المُعاصرة.

المعادلة الشهيرة: نجم عن النظرية الخاصة للنسبية مُعادلة فائقة الشهرة: $e= mc^2$

وتبينت الإملاءات الهائلة لتلك المعادلة، بتفجير القنابل الذريّة في هيروشيما وناغازاكي، بعد ظهورها على الورق بأربعين سنة. وبحسب نظرية آينشتاين التي برهنت صحتها في تلك الأيام المُرعبة من أغسطس / آب ١٩٤٥، فإن الذرّات تحتوي على كمية هائلة من الطاقة، محتبسة في جسيماتها. فإذا أرغمت تلك الجسيمات على ترك نظامها، كالحال عند إطلاق القنبلة الذرية، فإن كمية ضئيلة من كتلتها تُفقد، مقابل إطلاق كميات هائلة من الطاقة.

في تلك المعادلة، فإن مربع السرعة يُحدد الطاقة التي تنطلق من الذرّة، فإذا وصلت إلى حد سرعة الضوء (٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية)، فإن مربعها يساوي تسعين بليوناً. وإذا ضُرب هذا العدد بعدد يمثل كمية المادة، فإن الحاصل الذي يُعبر عن كمية الطاقة يكون ضخماً، مهما ضؤلت كمية تلك المادة.

تصنيف النجوم: في مطلع القرن العشرين، لفت بحث أجرته جامعة هارفارد عن الطيف الضوئي للنجوم، نظر هنري نورس راسل، مدير مرصد جامعة برنستون. اهتم راسل بدورة حياة النجوم.

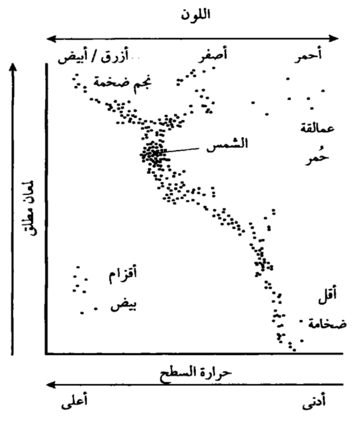
وتبدّى له أن تصنيف طيف ضوء النجوم، الذي أنجزته هارفارد، يعطي مفتاحاً لتاريخ النجوم أيضاً. وفي العام ١٩١٤، نشر مقالاً علمياً تضمن رسماً بيانياً عن العلاقة بين لون ضوء بعض النجوم (التي تظهر كخط ضمن الطيف) وشدّة لمعانها الحقيقي، وليس

التماعها الظاهري. وأظهر الرسم البياني أن تلك العلاقة تتبع نمطاً مُحدداً بدقة. وقد علم راسل أن الضوء الأزرق يدلّ على نجم أشد حرارة مما يصدر عنه ضوء أحمر.

وعلى ذلك الرسم البياني، امتدّت أضواء تلك النجوم بين الساخن اللامع والبارد الباهت. وبعبارة أخرى، أكّد الرسم البياني العلاقة بين حرارة النجوم وأحجامها.

وصودف أن فلكياً دنماركياً، اسمه إينار هيرتزسبرانغ، سبق أن اقترح أمراً مماثلاً، قبل بضع سنوات. وتقديراً لجهود العالِمين كليهما، سُمّي ذلك الرسم البياني باسم «خط هيرتزسبرنغ ـ راسل البياني».

ويُشار إلى النجوم التي تنتشر عبر ذلك الخط، باسم النجوم المتوالية الرئيسة. وثمة مجموعتان من النجوم لا تقعان ضمن ذلك الخط البياني: العمالقة الحُمر والأقزام البيض. وتُعرّف العمالقة الحُمر بأنها كرات هائلة الضخامة تحتوي على غازات باردة نسبياً، لكنها تُشعّ بسبب حجمها الكبير.



الشكل ٢٠: يرسم «خط هيرتزسبرنغ ـ راسل البياني» العلاقة بين لمعان النجم وحرارة سطحه.

ويُعتبر النجم «بيتلغييس» الذي يقع في مجموعة «أوريون» من النماذج المعروفة عن العمالقة الحُمر. ويبلغ من الضخامة أنه إذا وُضعت الشمس في مركزه، فإن مدار الأرض سيكون ضمن محيطه. وفي المقابل، تتميز الأقزام البيض بأنها شائعة وصغيرة وساخنة، عدا أنها نجوم صلبة. وربما امتلك قزم أبيض كتلة تفوق كتلة الشمس، من دون أن يصل حجمه إلى حجم الأرض!

وفي السنوات التي تلت نشر ذلك الخط البياني، مال العلماء إلى اعتبار الخط الذي ترسمه النجوم الرئيسة المتوالية قاعدة تسير عليها النجوم كلها. ومع التعمّق في فهم الآليات الداخلية للنجوم، صار واضحاً أن أمورها أشد تعقيداً من أن تُختصر بخط بياني. ولم يعد يُنظر إليه باعتباره صورة عن الدورة الطبيعية في حياة النجوم.

نظرية آينشتاين العامة: أمضى آينشتاين أربع سنوات، بعد نشر نظريّته الخاصة عن النسبية، للحصول على منصب أكاديمي. ولم يحصل على منصب أستاذ متوسط الأجر في جامعة زيوريخ إلا في العام ١٩٠٩. وواصلت شهرته تعاظمها عالمياً. وفي العام ١٩١٣، مُنح منصباً خاصاً في «معهد قيصر فيلهالم» في برلين، حيث أُتيح له الاتصال بكبار العلماء في العالم.

وعند اندلاع الحرب العالمية الأولى، أنقذته جنسيّته السويسرية من الخدمة في القوات المسلحة الألمانية، فأُتيح له الاستمرار في أبحاثه. وفي العام ١٩١٦، نشر ورقة علمية أخرى فائقة الأهمية، شرح فيها النظرية التي ارتبطت باسمه: النظرية العامة للنسبية. واشتقت كلمة «عامة» من سعيه إلى توسيع نظريته الخاصة حتى تشمل الجاذبية. لقد اهتمت نظريته الأصلية بالظواهر على مستوى الذرّة ومُكوّناتها، ثم بات مهجوساً بتطبيقها على الكون. ولذا، تصادم مع قوانين نيوتن للجاذبية.

وفي وصف النظرية العامة، يُقال أحياناً إن آينشتاين «قلب» قوانين نيوتن رأساً على

عقب. يتضمن ذلك الوصف مبالغة. ففي الأمور العملية الشائعة المتعلقة بالنظام الشمسي، تكاد النظريتان ألاّ تفترقا.

ولكن، في ما يتعلق الأمر بالأجسام التي تسير بسرعات مرتفعة، أي قريباً من سرعة الضوء، وكذلك بالنسبة إلى حقول الجاذبية الهائلة الضخامة، فإن نظرية آينشتاين تتقدّم على قوانين نيوتن بما لا يُقاس.

يكمن أحد الفروق بين النظريتين في تفسيرهما لطبيعة الجاذبية. فبالنسبة إلى نيوتن، تمثّل الجاذبية قوة تنبع من الأجسام الكبيرة، وتنتقل عبر وسط اسمه الأثير، منتشر في الكون كله. وبالنسبةإلى آينشتاين، لا وجود للأثير، إنه مجرد «افتراض روائي لتفسير قدرة الجاذبية على العمل من بُعد»، بحسب كلماته. وفي تحليله للجاذبية، لم ينظر آينشتاين إليها باعتبارها شيئاً كامناً في الأجسام المكوّنة من كتلة ما، بل رأى فيها نتيجة لانحناء الفضاء قرب تلك الكتلة. وفي حال جسم مثل الشمس، فإنه يشبه كرة ثقيلة موضوعة وسط مُسطّح من مطّاط. تصنع الطابة انتفاخاً صغيراً في المسطح وتُقعّره صوبها. وبذا، تتجه الكرات الصغيرة التي تسير على مسافة قريبة من الانتفاخ للدوران حول الطابة المركزية. وفي نظرية آينشتاين، فإن الفضاء حول الأجسام الكبيرة مثل الشمس يلتوي متأثراً بكتلة الشمس. وتنجم المدارات الإهليلجية للكواكب السيّارة نتيجة ذلك الانحناء. وبالمنطق عينه، يُجبر الالتواء الضوء الذي يمرّ قريباً من الشمس، على التفاعل مع ذلك الالتواء أيضاً.

ثمة عدّة طرق لاختبار القدرات الفعلية لنظريتي نيوتن وآينشتاين. وفي تجربة شهيرة، رصدت النجوم أثناء خسوف كليّ للشمس، حين يخضع الضوء الصادر من النجوم لأثر كتلة الشمس. ثم قورنت تلك المواضع بما يكونه الأمر في الليل، أي عند غياب أثر الانحناء الذي تحدثه كتلة الشمس على الضوء الآتي من النجوم.

بيّنت تلك التجربة أن ضوء النجوم ينحني على أثر مروره عبر الالتواء في نسيج الفضاء الذي تُحدثه الشمس. وطابقت حسابات الرصد فعلياً الحسابات النظرية التي توقعها آينشتاين سلفاً.

في العام ١٩٣٠، سافر آينشتاين إلى أميركا ليُحاضر في «معهد التكنولوجيا بكاليفورنيا» (كالتك). وفي تلك الفترة، وصل أدولف هتلر إلى السلطة في ألمانيا. وباعتباره يهودياً، بدا من الغباوة أن يعود إلى ألمانيا الهتلرية. واستقر في «معهد برنستون للعلوم المتقدمة» في نيوجيرسي. وفي العام ١٩٤٠، أصبح مواطناً أميركياً. وكرّس سنواته الأخيرة لمحاولة لم يُكتب لها النجاح، في إيجاد «نظرية موحّدة» تجمع القوانين التي تتحكّم بقوتيّ الجاذبية والكهرومغناطيسية. وبعد الحرب العالمية الثانية، شارك بحماسة في حملات الحدّ من انتشار السلاح النووي الذي يوفّر إثباتاً فظيعاً لصحّة نظرياته!

هابل في ماونت ويلسون: في السنوات التي تلت نشر مقياس ليفت، توصل علماء الفلك لتعيين المسافة إلى «مجموعة سيفيد المتغيّرة». وباستعمال المعادلات التي صاغتها ليفت، توصلوا لاحتساب المسافة إلى النجوم الخافتة عند أطراف المجرة، ثم إلى تحديد شكل تلك المجرة (أي درب التبانة) وحجمها. وتمكن عالم فلك منفرد من تطبيق قياس ليفت على النجوم التي تقع خارج تلك المجرّة. وقاد عمله إلى تغيير نظرة البشر إلى الكون كله. كان اسم هذا العالم إدوين هابل.

وُلِدَ هابل في مارشفيلد، بولاية ميسوري، في العام ١٨٨٩. عمل أبوه في المحاماة. واعتزم هو مُبكراً العمل في سلك العدالة.

وفاز بمنحة لدرس القانون في أوكسفورد، لكنه أُغرم بالفلك فدرسه في تلك الجامعة، ثم التحق بفريق عمل «مرصد ييركس»، قرب شيكاغو، حيث عمل بين العامين ١٩١٤ و١٩١٧. وعند عودته من الخدمة العسكرية في العام ١٩١٩، مُنح منصباً في مرصد «ماونت ويلسون». ووُضع بتصرفه تيليسكوب بعدسة قطرها ٢٥٤ سنتيمتراً، اعتبر حينذاك الأقوى في العالم. وفي مستهل عمله في «ماونت ويلسون»، جُذِب انتباهه إلى السديم، تلك الغمامة الفضية التي تظهر ليلاً في الركن القصي من السماء. ولم يوفّق الفلكيون قبلاً في سبر أغوارها. وفي ذلك الحين، عرف العلماء شكل المجرّة وحجمها على نحو مُرضٍ. ولكنهم لم يعرفوا

ما الذي يقع أبعد منها، إن وُجد ذلك الشيء أصلاً. وباللغة اليونانية، تُشتق كلمة مجرّة من اللاتينية، وتعني حرفياً «الطريق اللبنيّة».

وفي القرن العشرين، استُعمل المصطلحان على نحو تبادلي، كأن أحدهما مساوٍ للثاني. وبمعنى آخر، فقد ظُنّ أن مجرّة «الطريق اللبنية» (التي تُسمّى أيضاً «درب التبانة») تساوي الكون المنظور. وبدا واضحاً أن تلك المجرّة تحتوي أكثر من سديم يُمثّل سُحباً من غازات كونية يأتي سطوعها من النجوم التي تحويها.

وفي العام ١٩٢٤، نجح هابل في التعرّف إلى نجوم لم تكن معروفة في سديم «أندروميدا»، ونسب بعضها إلى مجموعة «سيفيد المُتغيّرة». واعتمد طريقة ليفت (الاعتماد على اللمعان الدوري) ليحسب المسافة التي تفصل تلك النجوم عن الأرض، فوجدها ٨٠٠ الف سنة ضوئية، وهذا يزيد بثمانية أضعاف على أبعد نجم معروف حينذاك. (تبيّن لاحقاً أن الرقم أقل من الواقع).

وخلال السنوات التالية، كرّر بنجاح تلك الحسابات، منتقلاً من سديم إلى آخر. وبذا، بيّن هابل أن المجرّة ليست إلاّ واحداً من «أكوان مستقلة» كثيرة، يضمّ كل منها أعداداً هائلة من النجوم.

الكون المتوسّع: لو لم يُنجز إدوين هابل سوى تغيير نظرة البشر إلى مجرتهم، لكفاه ذلك فخراً. لكنه لم يكتف بذلك. فخلال الخمسين سنة التي تلت وصف هيغنز لظاهرة «الانتقال صوب الأحمر» (التي تعني أن الضوء الكوني الذي يبتعد يتحوّل لونه المرئي إلى اللون الأحمر)، اكتشف العلماء عدداً من الأجرام السماوية التي تُظهر انتقالاً صوب الأحمر أو الأزرق. (يحدث الانتقال إلى الأزرق عند اقتراب مصدر الضوء الكوني من الأرض).

واكتشف فلكي يعمل في مرصد «لويل»، واسمه فيستو سليفر، أن الضوء الصادر من كل سديم خارج مجرة «درب التبانة»، يُظهر انتقالاً صوب الأحمر. ولم يستطع العلماء تفسير هذه الظاهرة.

في العام ١٩٢٩، نشر هابل تحليلاً للسرعات في السُدُم التي سبق أن احتسب بُعدها من الأرض. وأدار استنتاجه رؤوس العلماء؛ إذ اقترح أن ظاهرة انتقال أضواء السُدُم نحو الأحمر لا يمكن تفسيرها الا بابتعاد تلك السُدُم التي يمثّل كل منها مجرّة، عن الأرض. صحيح أن عدداً قليلاً جداً من تلك السُدُم يتجه نحو الأرض، إلا أن معظمها يرتحل بعيداً. ولاحظ أن الأمر نفسه ينطبق على المسافة التي تفصل السُدُم بعضها عن بعض، وبكلام آخر، فقد قرر هابل أن المجرّات في الكون تبتعد باطراد عن مجرّتنا.

وزاد الذهول العلمي، عندما أثبت هابل أن المجرّات تزداد سرعة أثناء ارتحالها بعيداً من «درب التبانة»، وكلما بعدت أكثر ارتفعت سرعتها. ولم يجد لذلك سوى أحد تفسيرين: إما أن مجرّتنا تتمتّع بوضع خاص في الكون، وإما أنّ الكون بأسره، بما فيه المسافات بين المجرات، يتوسع. ولم يتردد هابل في حسم الإجابة، إذ أشارت الدلائل التي تجمعت لديه كلها إلى أن الكون يتوسع باطراد!

نظرة جديدة إلى الكون: أدّت نظرية أدوين هابل، التي قالت إن الكون يتوسع باطراد، إلى تغيير في علم الفلك والكون. لكنها اصطدمت بالكثير من المقاومة في البداية. ففي نهاية الثلاثينات، قُبلت آراء هابل في معظم الأوساط العلمية المتخصصة. ويسهل على هؤلاء فهم النظريات المُعقّدة، عندما توضع في صيغ معادلات رياضية.

ويمكن تشبيه نظرية هابل للمجرات بأنها تُشبه نملاً يجري على سطح بالون يتعرّض للنفخ على نحو مستمر. تملك كل نملة حركتها الخاصة، ويمكن الاعتقاد في كل لحظة بأن بعضها يتحرك نحو بعض. وفي المقابل، فإن الانتفاخ المستمر في البالون يجعلها تتباعد بعضها عن بعض بسرعة متزايدة. ويبدو النمل الأكثر بُعداً عن غيره وكأنه يتحرّك بأكبر سرعة ممكنة.

وفي التشبيه السابق، فإن النمل يمثّل السُدُم وتجمّعات النجوم، والبالون كناية عن

الكون. ويملك كل سديم سرعته الخاصة (تُسمّى السرعة الغريبة)، لكن الظاهرة مجتمعة تُعطي صورة لما يجمعها كلها: الكون المتوسّع.

المجموعة القريبة من المجرّات: لا تتجه السُدُم والمجرّات كلها للابتعاد عن أرضنا ومجرّتنا. ثمة مجموعة من المجرات تتحرك صوبنا فتُسمّى المجموعة المحلية. وتتميز المجموعة المحلية بأنها تدور حول مركز مشترك للجاذبية تتشارك فيه مع مجرّة درب التبانة. وتضم تلك المجموعة من المجرات القريبة منا «السديم الكبير في الأندروميدا» (وحجمها أكبر من درب التبانة)، و«الغيوم المجلانية»، إضافة إلى نحو دزينتين من مجرات أصغر حجماً. وباستثناء هذه المجموعة، تسير جميع المجرّات الأخرى للابتعاد عنا ابتعاداً يعكس قوة التوسّع الكوني.

«بيضة لوميتر» الكونية: أدّى القبول بمقولة التوسّع الكوني إلى السؤال عن استمرارية تلك الظاهرة. فمن البديهي القول أن تلك ظاهرة إما أنها ابتدأت في نقطة ما في الماضي، وإما أنها ترافق الكون دوماً. وكلا الاحتمالين يثير أسئلة في وجه الفيزياء، من نوع لم تختبره قبل هابل.

وحاز الفلكي جورج إدوارد لوميتر قصب السبق في محاولة التوصّل إلى إجابة عن ذلك السؤال. وُلِدَ لوميتر في بلدة «شارل لو روا» البلجيكية في العام ١٨٩٤. وعمل مهندساً مدنياً، لكنّه اهتم بالفيزياء والرياضيات، خصوصاً أثناء خدمته في سلاح المدفعية في الحرب العالمية الأولى.

وبعد انتهاء تلك الحرب، تقدّم لنيل الدكتوراه في جامعة «لويفان»، كما سيم كاهناً. ثم درس فيزياء الفضاء في كامبريدج الإنكليزية، وتابعها في «معهد ماساشوستس للتقنية» الأميركي. وفي العام ١٩٢٧، عاد إلى «لويفان» بروفسوراً لفيزياء الفضاء. وحتى قبل أن يُعلن هابل نظريته عن التوسّع الكوني للملأ، اشتغل لوميتر على تلك الظاهرة محاولاً تفسيرها بالاعتماد على معادلات آينشتاين في النظرية العامة للنسبية. وعندما نشر

هابل تحليلاته، أحسّ لوميتر أنها تدعم تفسيراته عن الكون المتوسّع.

اقترح لوميتر أن الكون ابتدأ من نقطة معينة في الماضي، عبر انفجار نواة فائقة الكثافة والصغر، سمّاها «الذرّة الجبّارة» («سوبر ذرّة»)، أو «بيضة الكون» التي لم تتوقّف عن التوسّع منذ ذلك الحين.

ولم تُثر نظريته الكثير من النقاش حولها، عندما نُشرت للمرة الأولى.

وفي الأربعينات من القرن العشرين، جعلها فيزيائي أميركي اسمه جورج غاموه شائعة في العالم.

الشمس وطاقتها: تُعدّ العقود الثلاثة الأولى في القرن العشرين العهد الذهبي للمراقبة الفلكية التي أوصلت إلى اكتشافات غيّرت مسار العلم. ومن ثمّ، انتقل اهتمام علم الفلك من ميكانيكا النجوم عند نيوتن، وكذلك أعماله عن النظام الشمسي، إلى فيزياء الفضاء وتاريخ الكون المنظور.

وفيما حاول الفلكيون استيعاب تلك المُتغيّرات السريعة، قفز إلى الواجهة اكتشاف قوي هزّ أسس تفكيرهم بالأفران التي تستعر في قلب النجوم، ومنها الشمس، وآليات عملها. وساهم في هذا التغيير الفلكية البريطانية سيسيليا باين ـ غابوشكين التي درّست علم الفلك في جامعة هارفارد. وقبل ذلك، في العام ١٩٢٨، نشرت ما اكتشفته من المواضيع التي اهتمت بها أثناء إعدادها أطروحة الدكتوراه في جامعة «رادكليف»، تحت إشراف هنري نوريس راسل، والتي تضمّنت عملها في مرصد تلك الجامعة.

وفي ذلك الحين، افترض العلماء أن الشمس تتألف من مواد ثقيلة، وأن السر في قدرتها المستمرة على إنتاج الطاقة يكمن في التفاعلات الذريّة لتلك المواد. وفي المقابل، أظهرت دراسة باين للشمس أنها تتألف أساساً من غاز الهيدروجين. ولم يتوقّع العلماء تلك النتيجة، لذا قابلوها بتشكك عميق. وسرعان ما تلقت أبحاث باين دعماً قوياً من باحثين هما الإيرلندي وليام ماكراي، والألماني ألبرخت أنسولد.

ودلّت أبحاثهما عن الطيف الضوئي على تألّف غلاف الشمس من الهيدروجين،

بصورة شبه كليّة. ولم تُجب تلك الدراسات عن مصدر ذلك الغاز، لكنها دلّت إلى الطريق الذي قد يؤدي للعثور على تلك الإجابة.

الهيدروجين يتحول إلى هيليوم: في سياق البحث عن سرّ طاقة الشمس، جاءت أعمال اختصاصيين في علم الفيزياء: الألماني المولد هانز بيث الذي عمل في جامعة كورنيل، والبارون الألماني كارل فون فايزساكر الذي عمل في برلين. وفي العام ١٩٣٨، توصل كل منهما على نحو مستقل، إلى التعرّف على عمليتين قادرتين على إنتاج كميات هائلة من الطاقة، في ظل ظروف الحرارة والضغط الشديدين، كحال الشمس وسائر النجوم. تتمثّل إحدى العمليتين في دورة كاربون ـ نيتروجين، التي تسود في النجوم التي تفوق الشمس حجماً. وتتلخص الأخرى في سلسلة البروتونات، التي اقترح أنها تعطي معظم طاقة الشمس. وتوصف سلسلة البروتونات بأنها مجموعة من التفاعلات التي يتحوّل فيها الهيدروجين إلى هيليوم، مع إطلاق طاقة مدوّخة. ونتيجة الظروف السائدة في الفرن الشمسي، فإن تلك العملية تُغذي نفسها بحيث إنها استمرت بلايين السنين. وتُشير الحسابات الراهنة إلى أنها تُقدّم معظم طاقة الشمس، في حين تُقدّم دورة كاربون ـ نيتروجين الباقي.

وتوصّل بيث وفون فايزساكر إلى التعرّف على العملية المسؤولة عن الطاقة الشمسية. لكن أعمالهما لم تكن سوى نتيجة لنظريات الفيزياء الكمومية، وأبحاث القنبلة الذريّة.

وتُقدّم سلسلة البروتونات نموذجاً عن الانصهار الذرّي، إذ يُعاد تنظيم الذرّات المكوّنة لعنصر مُشعّ لتؤلف عنصراً ثقيلاً. ويرافق ذلك اندفاع كميات هائلة من الطاقة، على غرار ما يحدث في القنبلة الهيدروجينية. ويُقدّم ذلك وصفاً تقريبياً لما يحدث في الفرن الشمسي الذي يشبه تفجّراً مستمراً لملايين القنابل الهيدروجينية. فلا عجب أن تُحدث أشعة الشمس سرطان الجلد وحروقه، عن بُعد ١٥٠ مليون كيلومتر.

إعادة اكتشاف ماندل: أدّت أبحاث القسّ الكاثوليكي غريغور ماندل، التي أنجزها في حديقة ديرٍ بين خمسينات القرن التاسع عشر وستيناته، إلى ولادة علم جديد:

الجينات. لكن ذلك لم يحدث فوراً. ونُسيت أعماله أكثر من ٤٠ سنة بعد نشرها. وأُعيد اكتشافها في القرن العشرين.

فبعد نشر كتاب تشارلز داروين «أصل الأنواع»، مال رأي البيولوجيين إلى القول إن الأنواع الحيّة راهناً، جاءت في سياق من التطور. لقد فاز داروين في تلك المعركة، لكنه لم يحرز انتصاراً مُشابهاً بالنسبة إلى مفهوم «الانتقاء الطبيعي». ولم يؤيده فيه كثيرون. ويرجع ذلك إلى أنه لم يتوصّل لتفسير مُناسب لتلك العملية على مستوى الخلايا الحيّة وعملها. وبدلاً من ذلك، ظهر تفسير مُغاير فسّر التباين بين الأنواع بحصول طفرات، أي تغييرات فجائية في خلايا التكاثر، أدّت إلى ظهور أنواع جديدة في الأجيال التالية.

وفي المقابل، قدّمت أعمال ماندل، عندما أُعيد اكتشافها، دليلاً على أن «العناصر» الوراثية تنقل بحزم صغيرة من جيل إلى آخر. وشجّع ذلك الاعتقاد القائل إن التطور يحدث نتيجة تغيّرات في تلك العناصر، أكثر مما ينجم نتيجة الضغوط الخارجية لعملية الانتقاء.

الجين والكروموزوم: حدثت مجموعة من الاكتشافات المهمة بالنسبة إلى المادة المتصلة بالتكاثر الجنسي، حتى قبل إعادة اكتشاف أعمال ماندل. ففي أواخر السبعينات من القرن التاسع عشر، اشتغل عالم الحيوانات الألماني أوسكار هرتويغ على قنافذ البحر. واكتشف أن تلاقحها يتضمن اندماج نواة من الحوَين المنوي مع بويضة أنثى القنفذ، ويلي ذلك سلسلة من عمليات انقسام الخلية المُلقّحة وتكاثرها، فيتكوّن الجنين.

وفي العام ١٨٧٩، لاحظ عالم تشريح ألماني، وولتر فليمنغ، أنسجة خيطية الشكل في نواة الخلية، عُرفت لاحقاً باسم الكروموزوم. وفي العام ١٩٠٣، بعد إعادة اكتشاف أعمال غريغور ماندل، برهن البيولوجي الأميركي والتر سوتون، أن الكروموزومات تصطف أزواجاً في نواة الخلية. ونظر إلى «عناصر الوراثة» عند ماندل، باعتبارها جزءاً من الكروموزوم، وأن عملية التلقيح تؤدي إلى اختلاط تلك العناصر وتمازج بعضها ببعض، ثم إعادة انتقائها عشوائياً. وفي العام ١٩٠٩، صاغ عالم النبات الدنماركي، ويلهام لودفينغ

جوهانسون، مصطلح جين للإشارة إلى عناصر الوراثة في الخلية. وخلال عقدين، تبلور في البيولوجيا فرع جديد اسمه علم الجينات الذي شهد تطوراً سريعاً ومذهلاً.

تمازج الكروموزومات: بات غنياً عن التوكيد أن جينات الخلايا تصطف أزواجاً متراصة، ولكن عدد تلك الأزواج يتفاوت بين الأنواع الحيّة. ويبلغ العدد ٢٣ زوجاً في الكائن الانساني. وفي الأنواع التي تتكاثر جنسياً، ينفصل زوج الكروموزوم المعني بالتكاثر الجنسي، منذ لحظة التلقيح، لتأليف الخلايا الجنسية، أي الحوين المنوي والبويضة.

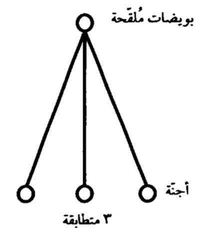
تتضمن هذه العملية التي تُسمى الانقسام المُنصِّف، لأن الكروموزومات المزدوجة تنقسم قبل أن يختلط بعضها ببعض، امتزاجاً قوياً بين العناصر الوراثية، حتى أن بعضهم يصفها بـ«رقصة الكروموزومات». وتتكثّف دلالتها في إعادة الترتيب العشوائية التي تحصل للكروموزومات وجيناتها، بعد تفكيكها. فتظهر كروموزومات جديدة، بمكوّنات جينية جديدة، بما في ذلك الكروموزومات التي تؤلف الخلايا الجنسية، أي الحوين المنوي والبويضة. ويضمن ذلك التمازج العشوائي لكل فرد هوية جينية مميزة، ما عدا حال التوائم المتطابقة جينياً. وفي حال الإنسان، يؤول الأمر، بعد التمازج، إلى بويضة مُلقّحة فيها ٢٣ زوجاً من الكروموزومات، جاء نصفها من الذكر والنصف الآخر من الأنثى. ويعتمد التركيب الوراثي للجنين على الجينات التي تنتقل من الأبوين. وتتكفّل عشوائية التمازج بجعل التكاثر الجنسي أداة قوية في تجديد الصفات الوراثية (المحمولة في الجينات) وإعادة توزيعها، عند انتقال العناصر الوراثية من جيل إلى جيل. ومن الجلي أن ذلك التمازج يضمن أيضاً تنوّعاً متجدداً في أفراد الجيل التالي من النوع نفسه، ممّا يكوّن المادة الخام لعملية الانتقاء الطبيعي.

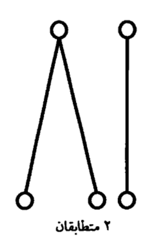
آليات الولادات المُتعدّدة: تقع الولادات المتعددة في نوعين: يتضمن أحدهما ظهور بويضتين ملقحتين في الوقت عينه (وتُسمّى توائم متآخية). وينجم الثاني من انقسام البويضة المُلقحة نفسها (وتُسمّى توائم متطابقة). وتملك التوائم المتطابقة (اثنين أو ثلاثة أو

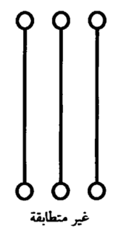
أربعة أو أكثر) المكوّنات الجينية عينها، في حين لا تتشابه التوائم المتآخية بأكثر مما يتشارك أي إخوة في الصفات الوراثية العائلية. ويخضع حصول التوائم المُتشابهة لقانون المصادفة، ويبلغ معدله واحداً من كل ٢٥٠ ولادة، بغض النظر عن الأصول العرقية للأبوين.

وفي المقابل، يتأثر معدل التوائم المتآخية بالعوامل الاثنية. فمثلاً، تحدث ولادات التوائم بمعدل أعلى أميركياً بين الأفارقة الأميركيين، فتراوح بين ولادة واحدة و٧٠ ولادة.

وينخفض المعدل عينه إلى ١ من ٨٨ ولادة بين الأعراق الأوروبية. وتنحسر إلى ١ من ٣٠٠ ولادة في الصين. وتنطبق النسب عينها على ولادة التوائم المتعددة. ففي الولايات المتحدة، يصل معدل ولادات التوائم إلى ١ من ٩٠ ولادة، والتوائم الثلاثة إلى ١ من ٧٥٠٠، والتوائم الأربعة إلى ١ من ٦٥٠ ألف ولادة. ولا تُمثّل الأرقام الواردة أعلاه سوى معدلات وسطية. وتعتمد نسبة التوائم المتآخية، في أُسرة مُعينة، على ظروفها الخاصة. وترتفع النسبة عند النساء اللواتي جئن من عائلات تكثر فيها ولادة التوائم، وكذلك في حال تأخّر سن الزواج عند المرأة. وتزداد أيضاً نسبه التوائم المتعددة عند النساء اللواتي يستعملن وسائل التلقيح الاصطناعي وأدويته. ويمكن الحمل أن ينتهي بتوائم، سواء متآخية أو متطابقة أو حتى بهذين النوعين معاً، استناداً إلى عدد البويضات التي لُقحت. فمثلاً، تأتي التوائم الثلاثية بأي من الطُرُق الآتية:







الشكل ٢١: آليات الولادات المتعددة.

الاحتمالات التي تقود إلى ولادة ٣ توائم.

الانتقاء الطبيعي والجينات: عندما اقتربت عشرينات القرن الماضي من نهاياتها، بدت نظرية ماندل في الجينات وكأنها تفوّقت على كل ما عداها. ومع ظهور مفهوم الطفرات، شرع بعض اختصاصيي البيولوجيا في الاعتقاد بأنهم لم يعودوا في حاجة إلى تبنّي أفكار داروين عن الانتقاء الطبيعي، وهي التي يلابسها الغموض. وفي المقابل، شنّ عدد من المخلصين لداروين، وعلى رأسهم أرنست ماير من جامعة هارفرد، هجوماً مُعاكساً. وتوصّل الطرفان في العام ١٩٤٠ إلى ما يشبه التسوية التي عُرفت باسم «الداروينية الجديدة»، وبمقتضاها تزاوجت مفاهيم ماندل في الجينات، مع النظرية الداروينية التقليدية. ومنذ ذاك، نُظر إلى التطور المؤدي إلى ولادة أنواع جديدة باعتباره نتيجة للانتقاء الطبيعي، وخصوصاً بالنسبة إلى المجموعات الصغيرة المعزولة، والذي ينجم عن تقاطع عوامل البيئة مع تناقل الجينات على طريقة ماندل. وتلعب الطفرات العشوائية دوراً مساعداً في هذا السيناريو المعقّد.

الحمض النووي: مع التوصّل إلى التسوية التاريخية التي مثّلتها «الداروينية الجديدة»، انتقل اهتمام العلماء إلى حقل الكيمياء البيولوجية ودورها في التطوّر. فعلى مستوى الجزيئيات الكيمياوية، تعمل الآلية التي تُبرمج المعلومات لكي تحملها الجينات وتنقلها إلى الأجيال التالية. وبدا الاهتمام بهذه الآليات الكيمياوية وكأنه بحث عن سر الحياة نفسها.

وفي العام ١٨٦٩، اكتشف عالم كيمياء بيولوجية من سويسرا، اسمه فريدريك ميشير ويعمل في جامعة توبنجن، مادة لاح له أنها موجودة في أنوية الخلايا كلها. وأعطاها اسم «نيوكليين»، لكنها اشتهرت لاحقاً باسم «الحمض النووي». وأثبتت الأبحاث اللاحقة توافر نوعين على الأقل، من الحمض النووي. ونال أحدهما الكثير من التحليل، وهو الحمض النووي الريبوزي الناقص الأوكسجين، المعروف باسمه المختصر «D.N.A».

وإذ ذاك ثار سؤالان: أين توجد جزيئيات «دي أن أي» في الخلية؟ وما هي وظيفتها؟ جاءت إجابة السؤال الأول من الكيميائي الألماني روبرت فولجين، الذي برهن أن حمض «دي أن أي» يتركز في الكروموزومات، وخصوصاً الجينات.

وعثر الفيزيائي الكندي ـ الأميركي أوزولد أفري على إجابة عن السؤال الثاني في العام ١٩٤٤، خلال عمله مع فريق علمي من «مؤسسة روكفلر» في نيويورك.

أهمية الحمض «دي أن أي»: وُلِدَ أوزولد أفري في هاليفاكس في نوفاسكوتشيا، في العام ١٨٧٧. وقد هاجر أبوه الذي خدم في السلك الكهنوتي إلى الولايات المتحدة عندما كان أفري في سنّه العاشرة. تخرّج طبيباً في جامعة كولومبيا في العام ١٩٠٤. انضم إلى «مؤسسة روكفلر» في العام ١٩١٣.

اشتغل أفري مع فريق علمي في بحث على جراثيم اسمها «المكوّرات الهوائية»، وهي نوع من البكتيريا توجد طبيعياً في شكلين: أحدهما ذو غلاف ناعم، والآخر غلافه خشن. ويسبب كلاهما التهاباً بكتيرياً في الرئة (مرض «ذات الرئة»).

واكتشف أفري وفريقه أن مزج البكتيريا الخشنة بمُركّب مستخلص مختبرياً من البكتيريا الناعمة، ثم حقنه في فأر، يؤدي إلى ولادة أعداد حيّة من البكتيريا الناعمة! وبدا الأمر مؤثراً للاختصاصيين، لأن النوع الناعم أُعيد إنتاجه بصورة حيّة، بعدما سُحق وقتل في أنابيب المختبر. ومعنى ذلك أن شيئاً ما في النوع الناعم استطاع أن يؤثر في التركيب الحيّ للنوع الخشن، حتى غيّر في صفاته فانتقل إلى النوع الناعم. وبقول آخر: إن شيئاً ما انتقل إلى النوع الخشن، فغيّر من معطيات تركيبه الجيني. وفي خطوة تالية، تمكّن أفري وفريقه من البرهنة على أن الشيء الذي أحدث التغيير هو حمض «دي أن أي». ولاحقاً، اتضح أن حمض «دي أن أي» يلعب الدور المركزي في عملية التكاثر.

وأعلن أفري اكتشافه الهائل على المجتمع العلمي الذي تبنّاه بقوة. وشكل ذلك الاكتشاف أساساً لمعظم الأبحاث التالية في حقل الوراثة.

وبات بإمكان العلماء التصدي للإجابة عن السؤال الذي فشل داروين في الإجابة عنه: ما هي آليات الوراثة التي تُمكن عناصر الوراثة من الانتقال بين الأجيال، وتتحكم في الوقت عينه بعملية الانتقاء الطبيعي في الوقت عينه؟

شطر الذرّة: في الوقت الذي انكبّ علماء البيولوجيا على سبر أغوار نواة الخلية الحيّة، انهمك علماء الفيزياء في التعرّف على أسرار نواة الذرّة. فبعد ثلاثين عاماً من نشر ألبرت آينشتاين النظرية الخاصة للنسبية، ظلّت معادلته الشهيرة عن علاقة الطاقة بالكتلة والسرعة مفتقرة إلى الإثباتات. وخطر لآينشتاين إمكان تصميم تجارب لقصف نواة الذرّة في المواد الثقيلة.

ولم تُجر تجربة لتُثبت صحة تلك المعادلة إلا في العام ١٩٣٩. وأشرف عليها مختبر «معهد قيصر فيلهالم» للكيمياء في برلين. وشاركت فيها الفيزيائية النمسوية ليز مايتنر، والكيماويان الألمانيان أوتو هان وفريتز ستراسمان. وُلِدَت مايتنر في فيينا في العام ١٨٧٨، لأبٍ يهودي. وتحوّلت إلى البروتستانتية. وألهمتها ماري كوري حب الفيزياء، فدرستها في فيينا. وفي العام ١٩٠٧، سافرت إلى برلين لحضور شروح من مؤسس الفيزياء الكمومية الألماني ماكس بلانك. وهناك، التقت أوتو هان. استقرت بعض الوقت في برلين، ثم أصبحت رئيسة قسم الفيزياء في «معهد قيصر فيلهالم»، وعُيِّن هان رئيساً لقسم الكيمياء فيها. وفي العام ١٩٣٩، بلغت مايتنر ٦٠ عاماً، وقد انقضى ثلاثون عاماً على عملها مع هان الذي يصغرها بسنة. وكان انضم اليهما قبل مدة قصيرة ستراسمان، البالغ من العمر ٣٦ عاماً.

في يناير / كانون الثاني من العام ١٩٣٩، انضم الثلاثي هان وستراسمان ومايتنر إلى برنامج للأبحاث يرتكز على أعمال مبكرة لأنريكو فرمي، الفيزيائي الإيطالي والبروفسور في جامعة روما. وقد عمل فرمي على جسيم في نواة الذرّة مُكتشف حديثاً، سُمّي حينذاك نيوترون. وتضمن عمله محاولة قصف نواة اليورانيوم بالنيوترونات. وأدت إحدى تجارب الثلاثي إلى نتيجة غامضة. فعند قصف مادة اليورانيوم بتيار من النيوترونات، وجدوا أنها تحوّلت إلى مادتَي كريبتون وباريوم، وكلتاهما من نظائر اليورانيوم. وكذلك لوحظ صدور نيوترونين كلما قُصفت نواة اليورانيوم بنيوترون! وما بدا أشد اثارة للتفكير، هو الكمية الهائلة من الطاقة التي انطلقت من اليورانيوم عند قصفه بالنيوترونات.

بعد تلك التجربة المثيرة مباشرة، استقلت مايتنر القطار إلى هولندا، زاعمة أنها ترغب في تمضية إجازة تمتد لبضعة أسابيع . كان لرحلتها حافزان. فقد ظنّت أن السلطات الألمانية تزمع ترحيلها إلى معسكرات الاعتقال الجماعي لكونها يهودية. وأما الحافز الآخر،فخلاصته أنها أدركت فوراً، وبحكم تضلعها في الرياضيات (التي لم يبرع فيها هان وستراسمان) الأبعاد الخطيرة التي تتضمنها هذه التجربة. والتمع في ذهنها أن ما شاهدته يُعبّر عن انشطار في نواة اليورانيوم إلى قسمين متعادلين تقريباً. ورأت أن الطاقة التي صدرت أثناء التجربة أتت من الفاقد الضئيل في كتلة نواة اليورانيوم أثناء عملية الانشطار، لأنها تعرف أن تلك الكمية تكفي، بحسب معادلة آينشتاين الشهيرة، لتوليد طاقة كبيرة. ولذا، شعرت بضرورة استشارة أشخاص خارج ألمانيا بشأن مدى خطر تلك التجربة.

وأثناء وجودها في هولندا، حاولت الحصول على تأشيرة إلى السويد، نشر زميلاها تقريراً عن تلك التجربة التي اشتهرت باسم «تجربة هان ـ ستراسمان». ولم يتمكنا من تقديم تفسير عن نتائجها!

القنبلة الذرية: أثار المقال عن «تجربة هان ـ ستراسمان» حمى الاهتمام بالمستجدّات عن الذرّة في المجتمع العلمي. وعندما حطّت طائرة مايتنر على أرض المطار في استوكهولم، استطاعت إيرين، ابنة الزوجين ماري وبيار كوري، تكرار تلك التجربة عينها مع زوجها بيار جوليوت. وناقشت مايتنر أفكارها عن الانشطار النووي مع ابن أختها الفيزيائي أوتو فريتش الذي مرّرها إلى حماه وعالم الفيزياء الدنماركي نيلز بور. ووقتذاك، كان بور في زيارة للولايات المتحدة، وقد أتاحت له فرصة مناقشة تلك التجربة ونتائجها وإملاءاتها مع آينشتاين نفسه. وخلال عشرة أيام، كُرّرت تلك التجربة في جامعة كولومبيا، و«مختبر جون هوبكنز» و«مؤسسة كارنيجي» في واشنطن.

ضم فريق العمل في كولومبيا أنريكو فرمي نفسه الذي فرّ من إيطاليا هرباً من الفاشيين.

وناقش فرمي وبور إمكان استعمال ما توصلت اليه «تجربة هان ـستراسمان» لتوليد تفاعل مُتسلسل. ويتضمن ذلك التفاعل توليد كمية من الجسيمات النشطة إشعاعياً من قصف كمية محدودة من الذرّات بالبروتونات، بحيث تستطيع، منذ لحظة صدورها، أن تقصف بدورها الأنوية الذرية في الكمية الباقية. يُشبه ذلك إشعال كمية صغيرة من المفرقعات في مخزن يحتوي على كميات كبيرة منها، بما يجعل الكمية الصغيرة قادرة على إشعال بقية الكمية الضخمة من المفرقعات، بتفاعل متسلسل يؤدي إلى انفجار ضخم.

وأظهرت الحسابات أن تفاعلاً كهذا بإمكانه أن يولّد انفجاراً مقداره أربعون مليون طن من متفجرات «تي أن تي»، باستعمال أقل من نصف كيلوغرام من اليورانيوم.

وظهر سؤال مُحرج عن مكان إجراء تجربة عن تفاعل متسلسل. وكذلك برز سؤال آخر عن عدم حدوث تفاعل متسلسل في تجربة هان وستراسمان. وتبيّن أن اليورانيوم الذي استُخدم في تلك التجربة احتوى على ٣ نظائر لذلك العنصر المُشع، يقدر أحدها ـ «اليورانيوم ٢٣٥» وحده ـ على الانشطار المطلوب لتوليد تفاعل متسلسل. ولم تزد كمية ذلك النظير على ١ في المئة في تجربة هان وستراسمان.

في مارس / آذار من العام ١٩٤٠، بعد ٦ أشهر من غزو ألمانيا لبولندا، وصلت إلى مختبر جامعة كولومبيا العينات الأولى من النظير المُشع «اليورانيوم ٢٣٥».

واستطاعوا تكرار نتائج التجربة الألمانية، فأكّد لهم أن ذلك النظير شكّل مصدر الطاقة التي لوحظت فيها.

وقبل ذلك بسنة، أورد آينشتاين أنه شبه متيقن من استحالة «تحويل المادة إلى طاقة تستخدم في شكل عملي، مدّة طويلة». أما في أكتوبر / تشرين الأول من العام ١٩٣٩، فقد شعر بأنه غير متأكد، حتى أنه بعث برسالة إلى الرئيس الأميركي فرانكلين روزفلت، شرح له فيها أنه ربما بات من الممكن تحقيق تفاعل متسلسل «في المستقبل القريب مباشرة»، مُضيفاً أن من «المفهوم أن قنابل هائلة القوة من نوع جديد... صارت قابلة للصنع». وجاء رد الرئيس روزفلت بأنه أنشأ هيئة صارت لاحقاً «المجلس الوطني للبحوث الدفاعية».

ومع علْم بريطانيا بأن ألمانيا تُطوّر تجاربها على سلاح ذريّ، أطلقت الحكومة البريطانية برنامجها الخاص في هذا المجال. وبحلول صيف ١٩٤١، تأكّد للفريق البريطاني أن التوصل إلى سلاح ذريّ هدف قابل للإنجاز.

وفي نوفمبر / تشرين الثاني، بعث «المجلس الوطني للبحوث الدفاعية» تقريراً إلى الرئيس يرد في خلاصته أنه «إذا وُضِعَت الجهود الممكنة كلها في هذا البرنامج، فمن المُرجّح صنع قنابل ذرية، تعمل بمبدأ انشطار النواة، خلال ٣ سنوات أو ٤ سنوات». في ٦ ديسمبر / كانون الأول، قررت الحكومة الأميركية صبّ «الجهود كلها» لصنع قنبلة ذرية. وفي اليوم التالي، هاجمت اليابان ميناء بيرل هاربور. وفجأة، قفزت الفيزياء إلى الخطوط الأمامية في الجبهة.

المفاعل النووي الأول: يعتبر برنامج «الجهود كلها» الذي أطلقته الولايات المتحدة لصنع قنبلة ذريّة، أول نموذج من نوعه في التاريخ. وفي ذروته، ضم ١٢٥ ألف شخص. عمل معظمهم في تصنيع المواد الخام للقنبلة الذرية في مصانع في «أوك ريدج» بولاية تينيسي. وفي وقت ما، استهلكت تلك المصانع وحدها ١/٧ من الطاقة الكهربائية للبلاد بأسرها!

مع إنشاء تلك البنية الصناعية، تجمّعت كوكبة من أبرز علماء الفيزياء، لتكرّس جهودها من أجل تحقيق تفاعل ذري متسلسل مُسيطر عليه. يجدر التأمل في مصطلح «مُسيطر عليه» الذي يعني أنه «بطيء»، وأنه يُغذي نفسه بنفسه فيتساوى عدد النيوترونات التي ينتجها مع تلك التي تخرج من المادة المشعة.

وواجهت تلك الكوكبة مشكلة سرعة النيوترونات، لأن الفراغ الذري الذي تسير فيه تلك الجسيمات يجعلها أكثر ميلاً إلى الخروج من الذرة، بدلاً من التوجه إلى الأنوية الذرية التي يُفترض أنها تعمل على تفجيرها. إذاً، بات ضرورياً إيجاد «وسيط»، شيء ما في بإمكانه أن يُبطئ سرعة النيوترونات، فيزداد احتمال اصطدامها بالأنوية الذرية الأخرى. وتمثّل

«الوسيط» في الغرافيت الصافي. وصُنعت كومة من حجارة الغرافيت، جُمعت في ملعب للاسكواش في الطبقة السفلى من استاد «ستاغفيلد» في جامعة شيكاغو.

ثم برزت مشكلة أخرى. ماذا لو ثبت أن التفاعل غير قابل للضبط؟ ماذا لو خرج عن السيطرة؟ عندئذ لن تُباد أرواحهم وحدها، بل ستطير معها جامعة شيكاغو أيضاً.

ومن الناحية النظرية، وُجدت فسحة من الوقت لزرع أعمدة من الغرافيت من أجل إبطاء التفاعل، إذا سارت الأمور في الاتجاه السيئ. ولم يكن هناك سوى هامش ضيق. وبصعوبة وجدوا وقتاً كافياً لإعادة النظر في الحسابات قبل الضغط على زر الإطلاق. وفي الساعة ٣,٢٠ من بعد ظهر الثاني من ديسمبر / كانون الأول من العام ١٩٤٢، أعلن فرمي أنهم نجحوا في تحقيق التفاعل المتسلسل المنضبط الأول في التاريخ. وأسرع حائز جائزة نوبل، آرثر تومبسون، ليُهاتف الرئيس الأميركي.

«سيدي الرئيس، إن الملاح الإيطالي وصل بنا إلى عالم جديد». لم يكن الملاح الإيطالي وحيداً، لقد سافر الجميع معه إلى ذلك العالم الجديد.

الأسلحة النووية: تلت تجربة التفاعل الذريّ المتسلسل المنضبط، تجربة أولى عالمياً وتاريخياً للتفاعل الذري المنفلت! وأُجريت في الساعة ٥,٣٠ صباحاً، في ١٦ يوليو / تموز ١٩٤٥، إبان عاصفة رعدية في «القاعدة الجوية في ألاموغوردو» في ولاية نيومكسيكو. عندئذ، فُجِّرت قنبلة تحوي ٩ كيلوغرامات «من اليورانيوم ٢٣٥»، مع البلوتونيوم، بعد أن رُكّزت في قمة برج حديدي. وصدرت التماعة وصلت درجة الحرارة فيها إلى ٥٠ مليون درجة مئوية. وعادلت قوتها ٢٠ ألف طن من مادة «TNT». وخلّفت حفرة عرضها ٠,٨ كيلومتر. وبعد ثلاثة أسابيع، في الساعة الثامنة والربع من صباح السادس من أغسطس / آب، انفجرت قنبلة تماثلها فوق مدينة هيروشيما اليابانية، فولّدت عاصفة نار أحرقت ٨٠ ألف شخص، وتركت المدينة أرضاً يباباً. وفي التاسع من أغسطس / آب، لتأكيد الرسالة التي حملتها القنبلة الأولى، فُجرّت قنبلة أخرى فوق مدينة ناغازاكي. وانتهت الحرب العالمية الثانية.

سباق التسلح النووي: لم يُفد الصراخ العلمي ضد الأسلحة النووية. فبعد السيطرة على علوم الانشطار النووي وتقنياته، بدت الدول المقتدرة مُصممة على السيطرة على الاندماج النووي الذي يولّد طاقة أشد وأدهى. وخلال الخمسينات، عرضت مجموعة من الدول الكبرى، أولاها أميركا وتلتها روسيا ثم بريطانيا، عضلاتها العلمية بتفجير قنابل هيدروجينية. ويُطلق ذلك النوع من القنابل طاقته عبر تحويل الهيدروجين إلى هيليوم، على غرار ما يحدث في قلب الفرن الشمسي، مستعملاً قنابل الانشطار النووي كصاعق لتحفيز الانفجار الكبير! واستطاع الروس تحقيق القنبلة الهيدروجينية الأضخم.

ففي ٢٠ اكتوبر / تشرين أول ١٩٦١، على الطرف الشمالي من جزيرة «نوفايا زيملايا»، أطلق الروس قنبلة حوّلت ثلاثة كيلوغرامات من المادة إلى طاقة منفلتة. بلغت قوة تلك القنبلة ٥٧ ميغاطن، أي ما يزيد على قنبلة هيروشيما ثلاثة آلاف ضعفٍ. ويُسمّى ذلك «علوماً تطبيقية!».

لينوس س. باولنغ: يُعتبر لينوس س. باولنغ الذي وُلِدَ في مدينة بورتلاند بولاية أوريغون في فبراير / شباط من العام ١٩٠١، أعظم عالم كيمياء في القرن العشرين. نشأ في أسرة صيدلاني، وكان بكر إخوته الثلاثة. وعندما بلغ سنّه التاسعة، توفّي والده.

ظهر اهتمامه بالكيمياء منذ بلوغه الثالثة عشرة، عندما أُهديت إليه عدّة كيمياوية مدرسية. درس في «كلية أوريغون للزراعة».

وفي السنة الثالثة من الدراسة الجامعية، أبهر أساتذته بقدراته إلى حد أن الجامعة خصته براتب مقابل تدريسه منهاجاً في التحليل الكمي لطلبة السنة الثانية! مثّل ذلك الراتب نوعاً من المبادرة الودود، لانه أعال، حينها، والدته التي عانت مرضاً عُضالاً.

تخرج باولنغ في العام ١٩٢٢. وانتقل إلى «معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا» (كالتك). وأعدّ أطروحة الدكتوراه عن موضوع تركيب البلورات التصويري كما تُظهرها أشعة إكس. وقد ابتكرت طريقة تصوير البلورات الكيماوية في العام ١٩١٢، على يد الفيزيائي الألماني ماكس فون لوه. ويُعطي تحليل الصور المُلتقطة بأشعة إكس للبلورات الكيمياوية

معلومات عن تركيبتها الداخلية، اعتماداً على تكسّر حزم تلك الأشعة عند اصطدامها بالبلّورات. نال باولنغ الدكتوراه في العام ١٩٢٥، والتحق بمعهد «كالتك»، فعُيّن بروفسوراً في العام ١٩٢٧. وبعد أربع سنوات، أطلق ثورة في مفهوم العلم للذرّة، من خلال تحليله طبيعة الروابط الكيمياوية التي تربط الجزيئيات بعضها ببعض.

هذا التحليل الذي تضمّنه مقال نشرته مجلة «الجمعية الاميركية للكيمياء»، أدخل على علم الكيمياء مفاهيم جديدة مستقاة من نظرية الفيزياء الكمومية، التي تعامل الإلكترونات باعتبارها موجات أكثر منها جسيمات. ونظرت إلى الروابط الكيمياوية باعتبارها اتحاداً بين الإلكترونات، وليس بين الذرّات. وفي العام ١٩٣٩، لخّص أفكاره عن تركيب الجزيئيات في كتاب عنوانه «طبيعة الروابط الكيمياوية»،الذي لبث مرجعاً علمياً كلاسيكياً في الكيمياء طوال القرن العشرين. وفي العام ١٩٥٤، نال جائزة نوبل للكيمياء.

وفي العام ١٩٦٢، أصبح الشخص الثاني، بعد ماري كوري، الذي ينال جائزة نوبل مرتين، عندما فاز بجائزة نوبل للسلام لجهوده في مجال نزع الأسلحة الذريّة.

يمثّل أحد اسهامات باولنغ في فهم التركيب الجزيئي، في تفسيره الصفات الكيمياوية للمواد المختلفة بالاعتماد على الروابط التي تصل جزيئياتها. فمثلاً، فسّر الصلابة الفائقة للألماس كنتيجة للطرق المتعددة التي تصل بين ذرّات الكاربون في تلك المادة، مما يجعل الألماس أشد صلابة من الغرافيت الذي يشاركه في الانتماء إلى عائلة الفحم. وفي العام ١٩٤٠، صبّ اهتمامه على درس المركبات الكاربونية التي تتألف من جزيئيات كبيرة، مثل البروتين والأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب المواد الحيّة. وتتشكل البروتينات من الأحماض الأمينية التي تُساهم في تكوين أنسجة الجسم، كما تلعب دوراً أساسياً في عملياته الحيوية.

مثلاً، تتألف الأظفار والعضلات من البروتينات. وعلى غرارها تشكّل أنزيمات اللعاب التي تساهم في تحويل المواد النشوية إلى سكر من تلك المادة عينها، تتميّز بعض البروتينات بتركيبها المُعقّد، فيفوق وزنها وزن الماء بآلاف المرات. وتُنتج سائر الأنواع

الحيّة بروتينات تطابق ما تتميز به من تركيب، بحيث يصعب الاستفادة على نحو مباشر من بروتين ينتج في نوع معين، من قِبَل نوع آخر.

ولذا، يتعيّن على الحيوانات أن تهضم البروتينات التي تأتيها من النباتات أو من الحيوانات الأخرى، لكي تستطيع أن تُعيد استخدام الأحماض الأمينية التي تحتويها.

وفي مايو / أيار ١٩٥١، أحدث فريق علمي من (كالتك) اختراقاً علمياً بنشره بحوثاً عن تركيب البروتينات التي تشكّل الحرير والريش والشعر وعدداً آخر من المواد العضوية. ولكنه تأخّر في دراسته المتصلة بتركيب حمض «دي أن أي». وقد سبقهم إليه فريق من كامبردج وإحدى الجامعات الانكليزية.

تركيب حمض «دي أن أي»: مع مطلع خمسينات القرن العشرين، اتضح الآتي:

١ ـ أن العناصر الوراثية تنقلها الكروموزومات، وهي تركيبات بروتينية تشبه الخيوط، وتوجد في نواة الخلية. وتحدد تلك العناصر الصفات الوراثية للجنين.

٢ ـ تتألف تلك العناصر الوراثية من جينات منثورة على امتداد خيوط الكروموزومات.

٣ ـ تحمل الجينات المعلومات الوراثية على هيئة مركّب جزيئي اسمه الحمض النووي الريبوزي الناقص الأوكسجين «دي أن أي».

كما تبيّن الآتي:

أ ـ لم يعد تركيب حمض «دي أن أي» عصيّاً على الفهم، لأن أكثر من فريق منغمس في تفكيك أسراره.

ب ـ من شأن التوصّل إلى معرفة تركيب «دي أن أي» أن يقلب علم الجينات رأساً على عقب.

ت ـ من يتوصّل إلى معرفة تركيب «دي أن أي» ينقش اسمه في تاريخ العلم والعالم.

وقد حدث ما كان متوقعاً، أي التوصل إلى تفكيك أسرار «دي أن أي» في العام ١٩٥٣، على يد فيزيائي إنكليزي مُهتم ببيولوجيا الجزيئيات، فرانسيس كريك، وعالِم أميركي في الكيمياء البيولوجية هو جايمس واطسن.

الصور الإشعاعية للبلورات: وُلِدَ فرانسيس كريك في بلدة نورثسمبتون الإنكليزية في العام ١٩١٦. درس الفيزياء في جامعة لندن، وعمل في مجال الرادار خلال الحرب العالمية الثانية. وفي العام ١٩٤٦، استمع إلى محاضرة للينوس باولنغ، فتنبّه إلى إمكان تحقيق اكتشاف أصيل في علم البيولوجيا الجزيئية. وقاده ذلك إلى الانخراط في بحث عملي في البيولوجيا في جامعة كامبريدج. وفي العام ١٩٤٩، عندما بلغ الثالثة والثلاثين، التحق بـ«وحدة البحوث في المجلس الطبي» التابعة لمختبر كافنديش.

وُلِدَ جايمس ديوي واطسن في شيكاغو في العام ١٩٢٨، وأظهر نبوغاً مُبكّراً. تسجّل في جامعة شيكاغو لدى بلوغه الخامسة عشرة، وتخرّج في التاسعة عشرة، وبعد ثلاث سنوات، نال شهادة الدكتوراه من جامعة إنديانا. وأثناء إعداده الأطروحة، قرأ كتاباً صغيراً عنوانه «ما هي الحياة؟» الذي وضعه الفيزيائي النمسوي إرفين شرودنغر. وأقنعه الكتاب بأن درس الجينات يفتح آفاقاً واسعة علمياً. وفي العام ١٩٥١، شارك في مؤتمر في نابولي، حيث قابل الفيزيائي الإنكليزي موريس ويلكنز (٣٣ سنة) الذي عمل في مشروع إنتاج القنبلة الذريّة في أميركا. ونفّرته تلك القنبلة من الفيزياء، فهجرها.

وكحال واطسن، قرأ ويلكنز أيضاً كتاب شرودنغر «ما هي الحياة؟».

وبعدئذ انغمس ويلكنز في مشروع لدرس تركيب الجزيئيات العضوية الكبيرة في «كلية كينغ» التابعة لجامعة لندن، مُستخدماً تحليل انكسار أشعة إكس على الطريقة التي اكتشفها باولنغ في (كالتك). وإذ وصف ويلكنز لواطسن عمله في ذلك المشروع، تحمّس الأخير للعمل في المشروع نفسه. وسرعان ما تقدّم بطلب للالتحاق بمختبر كافنديش، فقُبِل. ووصل إلى كامبريدج، بُعَيْدَ احتفاله بعيد ميلاده الثالث والعشرين. ونسجت أواصر الصداقة سريعاً بين واطسن وكريك البالغ من العمر، حينذاك، ٣٥ سنة. وصمم الصديقان على تقصي تركيب «دي أن أي». وحاول مسؤولو المختبر تثبيط عزمهما، باعتبار أن عمل ويلكنز في مختبر «كلية كينغ» الذي انضمّت اليه الكيمياوية الإنكليزية روزالند فرانكلين، بلغ مراحل متقدمة في ذلك الموضوع عينه. ثم تسرّبت أخبار تفيد أن خلافاً شخصياً وقع بين ويلكنز وفرانكلين، فعرقل العمل في ذلك المختبر.

فقد اشتهرت فرانكلين ببراعتها في تشخيص تركيب الجزيئيات باستعمال أشعة إكس. ولم يملك واطسن، وكذلك كريك، خبرة في ذلك المجال. وللتعويض عن النقص في دربتهما، لجآ إلى صنع نماذج مجسّمة عن تركيب الجزيئيات. ولكن تلك الوسيلة لم تنفع كثيراً في دفع علمهما إلى الأمام. وبدا كأن فريق باولنغ في (كالتك) بات قاب قوسين أو أدنى من معرفة تركيب «دي أن أي»، بسبب خبرته في حقلَي أشعة إكس وصنع النماذج. ألم يكن مؤلِّف «طبيعة الروابط الكيماوية» بمنزلة كتاب الصلاة عند واطسن؟

وزاد في الطين بلّة أن مدير مختبر كافنديش، لورانس براغ، ورئيس قسم تشخيص تركيب البلّورات باشعة إكس، ماكس بيروتز، اختصاصيان في أشعة إكس.

ولكنهما أصرّا على عدم الموافقة على عمل واطسن وكريك، باعتباره نسخة مما يصنعه فريق باولنغ. لم يكن محطّ الصراع بين الفريقين يتمثّل في التوصّل إلى معرفة التركيب الكيمياوي للحمض النووي «دي أن أي». ففي ذلك الحين، شاع أن جزيء «دي أن أي» يتألف من متواليات من أربع مواد قاعدية: ثيامين (ويُرمز إليه بالحرف «تي») وغوانين («جي») سيتوسين («سي») وأدينين («أي»)، متصل بعضها ببعض على هيئة ثنائيات. وتتصل القواعد الثنائية مع «أعمدة» مؤلفة من سُكَّر وفوسفات. لكن العلماء جهلوا تركيب أعمدة السُكَّر والفوسفات، وكذلك الطريقة التي تتصل بها القواعد الثنائية مع تلك الأعمدة. ومن دون تلك المعرفة، تبقى الآليات الدقيقة لانتقال عناصر الوراثة، أمراً مجهولاً. وكذلك يصعب تطبيق المعرفة النظرية بأحوال الوراثة لإيجاد حلول لمشكلات حياتية مثل الأمراض الوراثية.

وبلغت المفارقة ذروتها عندما استمع الصديقان كريك وواطسن إلى محاضرة عرضت فيها فرانكلين التقدّم الذي أحرزته في بحثها. والأرجح انهما أساءا فهم ما عرضته! فقد أسرعا إلى مختبرهما في كامبريدج. وبنيا نموذجاً. ودعوَا سائر أعضاء الفريق اللندني لمشاهدته. وبعد فترة قصيرة، شاهد واطسن صورة بأشعة إكس تبيّن المرحلة التي بلغتها فرانكلين في عملها. وبمساعدة من ويلكنز، لم يجد واطسن صعوبة في إعطاء تفسير لتلك الصورة. وهكذا، تغيّر الموقف في كامبريدج. وحصل الصديقان كريك وواطسن على

إذن بمواصلة البحث، ووضعت إمكانات المختبر في تصرفهما لكي يصنعا نموذجاً مُكبّراً عن تركيب الجزيء الذي يسعيان إلى فهمه. وبعد خمسة أسابيع من العمل الشاق والمتوتر، وبكثير من التخبّط التجريبي، شرع النموذج في التبلور، واتّخذ شكل سُلّم لولبي مزدوج.



الشكل ٢٢: تركيب حمض «دي أن أي».

تتلخص الملامح الرئيسة لجزيء «دي أن أي» بالآتي:

أ-- سُلّم لولبي مزدوج، حيث تؤلف جزيئات السُكّر والفوسفات أعمدة السلّم.

ب-- تُشكّل عتبات السلّم من متواليات من الأحماض الأمينية. ثمة نوعان من العتبات، يتكوّن أحدهما من اتحاد أدينين («أي») وثيامين («تي»)، والثاني من اتحاد غوانين («جي») سيتوسين («سي»).

مع ملاحظة الآتي:

١-- يُعبّر الجين عن مسافة من السلم، قوامها آلاف العتبات في الغالب.

٢--إن الطريقة التي تتوالى فيها تلك العتبات، هي الشيفرة لكتابة المعلومات عن الصفات الوراثية، لأنها تُبرمج طرق صُنع البروتينات التي تُحدد تركيب الكائن الحيّ ووظائفه الفيزيولوجية.

٣-- تتركز الجينات في الكروموزومات التي تتألف من مزيج من سلالم حمض «دي أن أي» وبروتينات متنوعة.

٤-- في التكاثر الجنسي، يؤدي تلقيح البويضة إلى تغيير في شيفرة الجينات التي تأتي من الأبوين، مما يضمن فرادة الجنين باستمرار.

٥-- في التوائم المُتشابهة، تكون شيفرة الجينات مختلفة عن شيفرة جينات الوالدين، ولكنها تتماثل لدى التوأمين كليهما، لأنهما ينجمان عن انقسام بويضة مُلقّحة بعينها.

٦ ـ عندما ينمو الجنين، تتكاثر الخلايا وتنقسم، فتنفكّ عتبات السلم إلى شقّين طولاً بما يُشبه فتح سحاب الثوب، ثم يعيد كل شقّ تصنيع النصف الذي كان ملتصقاً به، بما يضمن استمرار «الشيفرة» عينها في الخلايا.

وتتكوّن عتبات السُلّم من ثنائيات قاعدية مثل أي تي، سي جي، تي أي، أي تي، جي سي وهكذا.

في ٧ مارس / آذار ١٩٥٣، عرض كريك وواطسن نموذجهما على زملائهما. وفي ٢٥ أبريل / نيسان، ظهر مقال صغير، كُتب بكلمات متواضعة، في مجلة «نايتشر» العلمية عنوانه «التركيب الجزيئي للأحماض الأمينية». وهكذا أُخبِرَ العالم بأهم اختراق في التاريخ العلمي. ولم يمنع ذلك من تواريه، لوهلة من الوقت، خلف خبر وصول أول إنسان إلى قمة إفرست في هضبة الهملايا. وتلاشى خبر التسلّق سريعاً. وبعد كريك وواطسن، تفجّرت سيول من البحوث والاكتشافات الجينية التي ما زالت تتوالى فصولاً.

حمل العام ١٩٦٢ جائزة نوبل في الطب إلى كريك وواطسن وويلكنز. لم يُذكر اسم روزالند فرانكلين التي قضت نحبها في العام ١٩٥٨، عن ٣٧ سنة، إثر معاناتها مرض السرطان الذي حفزه تعرضها الكثيف لأشعة إكس خلال عملها، كما حصل مع ماري كوري قبلها.

«بيغ بانغ» أم «الحال الثابتة»؟: أدى صنع القنبلة الذريّة، الذي عجّلت به ضرورات الحرب العالمية الثانية، إلى فهم أكبر لما يجري في أعماق الذرّة. وبعد الحرب، التفت الفيزيائيون إلى تركيب الكون وأصله. ففي عشرينات القرن الماضي، صاغ العالِم الفيزيائي لاميتر نظرية لاقت تأييداً كبيراً، تزعم أن الكون نجم عن انفجار «بيضة كونية». ولم تجد من الأدلة ما يدعمها، كالحال مع نظرية التوسّع الكوني. وفي أواخر الأربعينات من القرن عينه، التقط الخيط فيزيائي أميركي اسمه جورج غاموه.

وُلِدَ غاموه في مدينة أوديسا بأوكرانيا، في العام ١٩٠٤، حفيداً لجنرال في جيش القيصر. نال شهادة الدكتوراه من جامعة لينينغراد، ثم عمل في عدد من الجامعات الأوروبية. انتقل إلى الولايات المتحدة في العام ١٩٣٤، واستقر فيها. وشغل منصب أستاذ في جامعة جورج واشنطن حتى العام ١٩٥٦، عندما التحق بجامعة كولورادو. وأثناء عمله في جامعة جورج واشنطن، عمل غاموه مستشاراً لـ«مختبر الفيزياء التطبيقية» في

جامعة جون هوبكنز، حيث تعرّف إلى طالب يعدّ أطروحة الدكتوراه، اسمه رالف ألفر. في العام ١٩٤٨، نشر غاموه وألفر ورقة بحث في مجلة «فيزيكس ريفيو»، ناقشا فيها الظروف التي تسود دواخل «ذرّة جبّارة»، ويمكنها أن تفجّر كوناً، من النوع الذي نظّر له لاميتر. واعتُبرت تلك الورقة الولادة الرسمية لنظرية «الانفجار الكبير» (بيغ ـ بانغ).

وعارضت مجموعة من العلماء، في كامبريدج بإنكلترا، نظرية غاموه وألفر. وضمت علماء نابهين في فيزياء الفضاء، من وزن فريد هولي. ففي السنة عينها التي نشر فيها غاموه وألفر ورقة بحثهما، تقدّم هولي وفريقه الذي ضمّ هيرمان بوندي وتوماس غولد، بتفسير مُغاير حمل اسم «الحال الثابتة». وتُفسر نظرية «الحال الثابتة» ما لوحظ من تباعد بين المجرّات، بولادة مستمرة وثابتة للمادة في الفضاء الممتد بين المجرات الكونية، بحيث تُرغمها على التباعد. وبموجب تلك المزاعم، لا يملك الكون بداية، ويحتفظ بهيئته العامة ثابتة على الدوام وتُشبه حاله راهناً. والمفارقة أن الفضل في صوغ مصطلح «بيغ بانغ» يعود إلى هولي الذي قصد منه تسخيف نظرية غاموه وألفر! وأدى الأمر إلى عكسه. فقد راج المصطلح بشدّة، وخدم هذا نظرية التوسّع الكوني. وبقيت النظريتان في مجال البحث النظري. وفي العام ١٩٤٨، زعم غاموه وألفر، بدعمٍ من زميلهما روبرت هيرمان، أن القول بالتوسّع الكوني يوصل إلى توقّع وجود أشعة باردة وخافتة، بدت منذ زمن الانفجار الكبير كأنها الصدى. واعتقد الثلاثي بأن تلك الأشعة تُشكّل نوعاً من «الخلفية» في مشهدية الكون. وفي العام ١٩٦٥، قادت المصادفة خبيرين في «مختبرات بيل» في هولمديل بولاية نيوجيرسي، هما أرنو بينزياس وروبرت ويلسون، إلى اكتشاف أشعة مايكروويف، وهي تتمتع بالبرودة والخفوت اللذين تتوقعهما نظرية «بيغ بانغ». كما لاحظا أنها تبدو وكأنها تصدر من جميع اتجاهات الفضاء العميق. وقد نالا جائزة نوبل عن تلك الملاحظة التي رسمت نهاية نظرية «الحال الثابتة».

ومع صنع تيليسكوبات أقوى، استطاع الفلكيون النظر إلى مسافات أبعد، ومن ثم الوصول إلى أزمنة أبعد. وتراءى لهم الكون وكأنه أكثر اكتظاظاً مما ظنّوه، خصوصاً عندما التقطت عيونهم المزيد من المجرات الحديثة العهد.

وفي العقود الأربعة التي تلت اكتشاف بينزياس وويلسون الأشعة في خلفية الكون، أصبحت نظرية الـ«بيغ بانغ» أكثر قبولاً كتفسير علمي عن أصل الكون. ولم يحلّ ذلك لغز الكون نفسه. وظلت الأسئلة المؤرقة عن الزمن والكون كحالها دوماً. وظهرت فكرة تقول إن تاريخ الكون يتضمّن سلسلة من التوسّعات والانكماشات، كبديل من الفكرة القائلة بتوسّع وحيد بعد الـ«بيغ بانغ».

كم عدد النجوم؟: ثابر العلماء تاريخياً على إعادة النظر في الرقم الذي يشير إلى عدد النجوم، ومن ثم تغييره تكراراً. وفي المقابل، بدا عدد النجوم التي تتراءى للناظر من الأرض شبه ثابت: ٦٠٠٠. ومع الزيادة في قوة التيليسكوبات، ارتفع عدد النجوم المعروفة باطراد.

ويُعتقد راهناً بوجود ٤٠٠ بليون نجم في مجرّة «درب التبّانة»، كما أن عدد المجرّات كونياً يُقارب ١٠٠ مليون. وبذا، يشتمل الكون، ضمن معرفتنا راهناً، على قرابة ٤٠ مليون مليون مليون نجم. هل من مزيد؟

المدى المتوقع للعمر: إذا اجتاحتك الرغبة في العمر المديد، فمن الأفضل أن تكون كبير الحجم. تظهر تلك الحكمة التي تربط العمر بالحجم، وكأنها صحيحة بالنسبة إلى أنواع كثيرة من الكائنات، من الفراش القصير العمر إلى أشجار الصنوبر المُعمَّرة. وفي ما يأتي قائمة بمتوسط أعمار عدد من الأنواع:

النوع	عدد السنوات
الحيوانات اللبونة:	
فأر الحقل	١
السنجاب الرمادي	٢
الذئب	١٠
الفيل الآسيوي	٤٠

الزواحف:	
الحيّة ذات الأجراس	١٠
تمساح النيل	٤٠
الأسماك:	
ترويت	٣
الحَفَش	٣٠
الطيور:	
القُرقُف الأميركي	٢
النسر الذهبي	٢٠

قد تحيا تلك الحيوانات أعماراً أطول. فقد يعيش الفيل الآسيوي ثمانين عاماً. ويمتد العمر بأُنثى ستيرغون إلى ما بعد المئة سنة بكثير، وبالتورتواز الضخم في غالاباغوس إلى ما بعد المئة والعشرين سنة.

تبدو المخلوقات التي لا تتحرك وكأنها مرشحة لطول البقاء. إذ يُقدر أن أشجار الصنوبر اليانعة في نيفادا بلغت من العمر أكثر من ٢٠٠٠ سنة، في عهد الملك البابلي نبوخذنصّر!

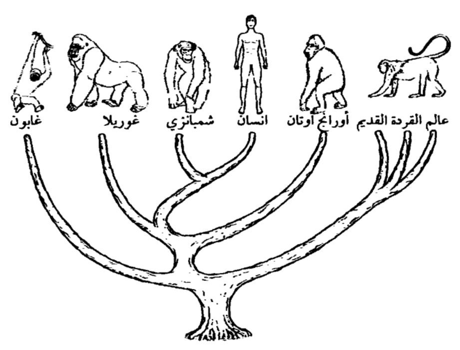
أي الجينات نتشارك فيها؟: خلال القرن العشرين، هيمن مصطلح «الحلقة المفقودة» على النقاشات عن أصل الانسان. ومن الصعب التفكير أن مصطلحاً من كلمتين أثار كل هذا الصخب الذي يعزّ نظيره. ويشير المصطلح إلى افتراض راج منذ زمن تشارلز داروين، ويتعلّق بضرورة البحث عن مخلوقات تتوسط الطريق بين تركيب الإنسان والقردة بيولوجياً. وإذا وُجدت تلك «الحلقة»، أصبح في استطاعة أنصار داروين الحديث عن تحدّر الإنسان من القرد، أو بالعكس. وفي حال ظلت غائبة، تؤول نظرية النشوء والارتقاء برمتها إلى مجرّد تأملات وافتراضات.

والمفارقة التي يتضمنها ذلك المصطلح الخلافي أن داروين نفسه، وليس أي عالم

بيولوجي آخر، لم يرَ أن الإنسان متحدّر من القردة العليا، وهذا كالتفكير في أن اسبانيا تحدّرت من فرنسا! ويتلخص ما قاله داروين، وما تشير إليه الدلائل الجينية، أن ثمة أصولاً بيولوجية متقاطعة بين الإنسان والقردة العليا، بالقدر الذي يمكن القول فيه إن لفرنسا وإسبانيا أصولاً مشتركة أيضاً. يظهر التقارب بين العائلات بمقارنة التركيب الجيني للأنواع التي تندرج تحتها.

وقد أشارت دراسات حديثة إلى تشارك الإنسان والشمبانزي ٩٨،٤ في المئة من الجينات. ويصل الرقم في حال الغوريللا إلى ٩٧،٧ في المئة. لا تظهر فكرة «الحلقة المفقودة» إلا إذا فكّر الانسان في التطور وكأنه سلّم يبدأ بالكائنات «الدنيا» وينتهي بـ«العليا». ولم يتضمن ذلك نظرية داروين أصلاً، إذ إنها نظرت إلى الاختلاف في الأنواع على أنه محض اختلاف.

وبعبارة أخرى، نظر داروين إلى تطور الأنواع المختلفة باعتباره عملية تشبه تشعّب الشجرة في غصون متعددة. وتفضي المقارنة بين الكائنات الحيّة المختلفة وما تتشارك فيه جينياً، إلى رسم الصورة الآتية للتطور والتنوّع فيها:



الشكل ٢٣: شجرة العائلة لبعض الحيوانات الثديية الأساسية.
التشعّب المتوالي في شجرة الحياة لشرح ما تتشارك الأنواع فيه.

تاريخ الجنس البشري: يبدو من الشائع راهناً القول إن الخط الذي فصل بين الشمبانزي وبعض الأنواع ما قبل الإنسانية، ارتسم قبل قرابة ٧ ملايين أو ٦ ملايين سنة في أفريقيا. ولأنه لم يتوافر للباحثين سوى عدد قليل من المتحجرات التي تعود إلى تلك الحقبة، لا يستطيع أحد إعطاء قول فصل في المسار العملي للتطوّر، ولا في تسلسل ظهور تلك الأنواع، وصولاً إلى النوع الذي يُشار إليه بلفظة هومو، وهي البادئة التي تشير إلى البشر.

الجدول الآتي يظهر العلاقة زمنياً بين الأنواع الشهيرة التي سُمّيت باسم «المتحجرات» التي دلّت إلى وجودها. وبديهي القول أن التواريخ تقريبية.

والأرجح أن يظهر المزيد من الدلائل، ثم من الافكار بشأنها، خلال العقود القليلة المقبلة، مع التوسّع في التنقيب عن المتحجّرات، إضافة إلى التقدم في علوم الجينات. ولا يعني ذلك أن تطور الأنواع قد لا يتحوّل إلى سر مُستغلق دوماً.

الأنواع	ظهورها (عدد السنوات قبل الميلاد)
أسترولوبيكس أفارنسيس	٤ ملايين
هومو هابيليس (النوع الماهر)	٢,٥ مليون
هومو إركتس (النوع المنتصب)	١,٦ مليون
هومو نياندرثاليس	٢٠٠ ألف
هومو سابيانس (الإنسان الحديث)	١٢٠ ألفاً

أسترولوبيكس أفارنسيس: عُثر على متحجّر من ذلك النوع، للمرة الأولى، في وادي عفر بأثيوبيا. ويُعتقد أنه سار بطريقة شبه منتصبة وقطن شرق أفريقيا.

هومو هابيليس (النوع الماهر): يعتبر من أقدم الأنواع الشبيهة بالإنسان. قطن جنوب شرقي أفريقيا. وبرع في صنع الأدوات. وربما تمكن من النطق. ويشبه النوع المعروف باسم هومو إرغاستر.

عُثر على المتحجّرات الأولى من النوع المعروف هومو إركتس (النوع المنتصب) في أفريقيا، كما عثُر على أُخر يقلّ عمرها عن مليونَي سنة في جزيرة جاوه (أندونيسيا) والصين والقوقاز.

واستعمل النار، إضافة إلى مهارته في صنع الأدوات. ويقارب حجم دماغه ما للبشر راهناً. ويُعتقد بأنه تمكن من النطق بطلاقة.

وقد تميّز نوع هومو نياندرثاليس (رجل وادي نياندر) ببنيته المتينة. وقطن آسيا الوسطى والشرق الأوسط وأوروبا، في زمن قريب من عيش هومو سابيانس فيها. ولا تتوافر دلائل على تزاوج النوعين. ويُطلق العلماء اسم هومو سابيانس (الرجل المُفكّر) للدلالة عن النوع البشري. ورغم توزّع أنواعه في الأرض، فإن تركيبه الجيني متطابق، ولم يتغيّر خلال المئة ألف سنة الفائتة.

التسلسل التاريخي للحضارة: تدل أرقام الجدول السابق على نوع من التطور البيولوجي. ويرسم علماء الآثار تسلسلاً زمنياً مماثلاً لحفرياتهم التي ترجع إلى ٢,٥ مليون سنة، وهو ما يُعتبر سجلاً للتسلسل الحضاري، استناداً إلى أشياء مثل أدوات الصناعة والزراعة والأسلحة وأدوات المطبخ وغيرها.

* **الإنسان القديم (قبل الميلاد بنحو ٢,٥ مليون أو ١,٥ مليون سنة):** قطن شرق أفريقيا، ويعتبر أقدم صانع ذكي للأدوات الحضارية.
* **عصر رجُل الفأس (قبل الميلاد بين ١,٥ مليون سنة و٢٠٠ ألف سنة):** عاش في أفريقيا والشرق الأدنى وأوروبا. وتميّز بقدرته على صنع الفأس اليدوي، وبعض الأدوات المُشابهة. ويُعتقد بأنه عاصر النوع المنتصب والهومو إرغاستر وغيرهما.
* **رجُل الإزميل (قبل الميلاد بين ٢٠٠ ألف سنة و٣٥ ألف سنة):** انتشرت مواطنه بين أفريقيا والشرق الأدنى وأوروبا. اشتهر بصنع الإزميل الذي استخدمه في نحت أدوات حجرية أكثر رهافة ودقة من ذي قبل. تزامن مع نوع الهومو نياندرثاليس.

* **إنسان العصر الحجري القديم (قبل الميلاد بين ٤٠ ألف سنة و١٢ ألف سنة):** سكن أفريقيا وآسيا وأوروبا. صنع أدوات وأسلحة متقدمة. وترك نقوشاً في الكهوف والصخور، واتخذ بعض الحليّ كأدوات للزينة.
* **إنسان العصر الحجري الحديث (قبل الميلاد بين ١٢ ألف سنة و٦ آلاف سنة):** يعتقد أنه انتشر في كل مكان. صنع أدوات متقدمة من الحجر والصلصال، وتوصل إلى نسج ثيابه. وبعد نهاية العصر الجليدي الأخير، دخل في ثورة الزراعة التي شملت الشرق الأوسط وجنوب آسيا وشرقها، فولّد أنماطاً جديدة من العيش، في حين بقيت الحضارات الأخرى معتمدة على القنص والتقاط الثمار.

الجين والجينوم: تُمثّل الجينات حزماً من المعلومات. وتنتشر في سلاسل مُتتالية على طول خطوط الكروموزومات التي تقبع في أنوية خلايا الحيوان والنبات. وكما تُحدّد البرمجيات عمل الكومبيوتر، كذلك تُوجّه الجينات العمليات الأساسية في الكائن الحيّ. في الجنين، كما في النبات غير الناضج، تُعطي الجينات التعليمات التي تقود تطور الخصائص المختلفة التي تظهر في مراحل العمر كلها. وفي الكائن الحيّ، تحمل الخلايا المجموعات عينها من الجينات في كروموزوماتها.

في عملية التكاثر الجنسي، تحتوي كل خلية، عدا الخلايا المختصة بالجنس (الحيوان المنوي والبويضة) على نسختين من الكروموزومات، في حين تضم خلايا الجنس نسخة منفردة منها، وهذا ينقص العدد إلى النصف.

يُطلق مُصطلح «الجينوم» على سلسلة الجينات كلها. وقد يملك أحد الأنواع جينوم أطول من غيره، يعني أنه يحوي عدداً أكبر من الجينات فيه. وفي العام ١٩٧٧، تعرّف العلماء إلى الشيفرة الكاملة لتسلسل الجينات في جينوم أحد الفيروسات، فكان سبقاً تاريخياً. واتضح أن الجينوم لا يضم سوى ٥٣٨٦ قاعدة ثنائية في تلك الشيفرة. وعند الإنسان، يتألف الجينوم من ٢٢ زوجاً من الكروموزومات، يضاف إليها زوج متخصص في الجنس، فيكون المجموع ٢٣. وفي العام ٢٠٠١، تم الإعلان عن التوصّل إلى رسم

الخريطة الكاملة لشيفرة الجينوم عند الإنسان. وتبيّن أنه يتألف من ٣٠ ألف جين، تحتوي على ٣ بلايين ثنائية قاعدية، وهي بمنزلة الحروف التي تُكتب فيها المعلومات الوراثية. وبعبارة أخرى، فإن الجينوم لا يضم سوى ٥ في المئة من مجموع الحمض النووي «دي أن أي» في الإنسان، في حين يُنظر إلى الباقي باعتباره زوائد لا قيمة لها راهناً. ويسميها بعضهم «زبالة». ويعني ذلك احتمال أن تتغيّر نظرة العلم إلى تلك «الزبالة» مستقبلاً! ويُضاف إلى ذلك، أن الجينوم الذي فُككت شيفرته في العام ٢٠٠١، لا يمثّل سوى نموذج وسطي للجينوم الفعلي للإنسان. ومعلوم أن «مشروع الجينوم الإنساني» أنتج ذلك النموذج بواسطة آلات متطورة قطّعت حمض «دي أن أي» أولاً، ثم وُزّعت تلك القطع على فرق من البحّاثة، اشتغلت عليها بمعونة كومبيوترات ضخمة ومتطورة.

شبيه الإنسان الصغير: في العام ٢٠٠٤، اكتشف فريق أُسترالي متخصص بعلم الإحاثة (الذي يبحث في أصل الأنواع الحيّة «باليونتولوجيا») بقايا لمتحجر يحوي نوعاً شبيهاً بالجنس البشري، لم يكن معروفاً. حدث الاكتشاف في جزيرة «فلوريس» الأندونيسية.

الجينوم الإنساني

كروموزوم	عدد الجينات (عدد تقريبي)	عدد الثنائيات القاعدية (بالملايين)
١	٣٠٠٠	٢٨٠
٢	٢٣٠٠	٢٥٠
٣	٢٠٠٠	٢٢٠
٤	١٣٠٠	٢٠٠
٥	١٦٠٠	٢٠٠
٦	٢٠٠٠	١٨٠
٧	١٤٠٠	١٦٠

٨	١١٠٠	١٥٠
٩	١٣٠٠	١٤٠
١٠	١٤٠٠	١٤٠
١١	٢١٠٠	١٥٠
١٢	١٧٠٠	١٤٠
١٣	٧٠٠	١٢٠
١٤	١١٠٠	١١٠
١٥	١١٠٠	١٠٠
١٦	١١٠٠	١٠٠
١٧	١٦٠٠	٩٠
١٨	٨٠٠	٩٠
١٩	١٥٠٠	٧٠
٢٠	٩٠٠	٧٠
٢١	٣٠٠	٥٠
٢٢	٣٠٠	٥٠
المجموع	٣٠٦٠٠	٣٠٦٠

يُضاف إلى الجدول الكروموزوم ٢٣، الذي يكون كروموزوم «إكس» (١٢٠٠ جين) أو كروموزوم «واي» (٢٠٠ جين) عند الرجل؛ في حين يكون كروموزوم إكس دائماً عند المرأة. وإذا تلقى الجنين كروموزوم إكس من المرأة و«واي» من الرجل، جاء ذكراً. وإذا تلقى كروموزومي إكس من الوالدين، كان أنثى.

وسمُي «الشبيه الإنساني الصغير». وضمّت بقاياه جمجمة كاملة. وعُثر عليه في كهف، مدفوناً على عمق ستة أمتار. وقُدّر طول هامته بمتر. وأُعطي اسم «هومو فلوريسنسس». وسرعان ما لقّبته وسائل الإعلام بـ «قزم الهوبيت»، على اسم مخلوق

قزم ظهر في سلسلة أفلام «ملك الخواتم». ودلّ تحليل عمر الكاربون ١٤ إلى أنه عاش قبل ١٨٠٠٠ سنة. كما عُثر على ٦ بقايا من النوع عينه، ورجّح تحليل عمر الكاربون ١٤، أنها عاشت قبل زمن يراوح بين ٧٠ ألف سنة و١٢ ألف سنة.

ودلّ حجم الجمجمة إلى دماغ أكبر مما لدى الشمبانزي بنحو ٤٠٠ ملليلتر، مما يجعله أصغر من متوسط دماغ الإنسان بنحو ١٣٠٠ ملليلتر. وإذا تذكرنا أنه عُثر على جمجمة منفردة، وأن حجم الدماغ في الحيوانات اللبونة يعتمد على حجم الجسم، وأنه لا توجد علاقة مباشرة بين حجم الدماغ والذكاء، يتبيّن أن تلك الجمجمة لا تفيد كثيراً في معرفة قدرات ذلك النوع. ووجد الفريق الأسترالي بقايا نار وأدوات وعظام حيوانات قرب تلك المتحجرّات. لم يشكّل العثور على نوع قزم صدمة للعلماء، لأن التواتر بين الفئات القزمة والعملاقة خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً، مسألة مألوفة في تاريخ الأنواع الحيّة. وتفصل مليون سنة بين «قزم الهوبيت» وأزمنة ما قبل التاريخ، عندما عاشت فئران عملاقة وأفيال صغيرة الحجم نسبياً.

ومع ذلك، لم يخل الاكتشاف من بعض الدهشة علمياً، بسبب تعلّقه بنوع غير بعيد من نوع «الهومو»، خصوصاً أنه عاش في أزمنة قريبة نسبياً.

قبل تلك البقايا من هومو فلوريسنسس، اعتبر «رجلناندرثاليس» الذي انقرض قبل ٣٠ ألف عام، أقرب أنواع الهومو زمنياً إلى الإنسان. ولذا، دُهش العلماء للعثور على نوع آخر عاش قبل ١٢ ألف عام، مما أثار السؤال عن زمن انقراضه، إضافة إلى التساؤل عما إذا كانت البقايا تشكّل نوعاً جديداً فعلياً. ورجّح العلماء أن نوع «الفلوريسنسس» انقرض بفعل ثوران بركاني هائل، قبل ١٢ ألف سنة، في الوقت الذي شرعوا فيه باستهلاك اللحم المشوي. وفي المقابل، تمتلئ الأرض بالأقوام القصيرة القامة، مما يزيد من صعوبة التوصّل إلى حقائق صلبة فعلياً عن تلك المكتشفات. ومال علماء آخرون للقول إن «فلوريسنسس» لا يمثّل سوى قوم ضئيلي الحجم من بني البشر، عاشوا في عزلة في تلك الجزيرة!

ولم يؤد الاكتشاف إلى إعادة رسم تاريخ التطوّر، لكنه أكّد مدى عدم معرفة العلم فعلياً بتفاصيل تطوّر الإنسان.

مُعدّل التطوّر: صاغ تشارلز داروين نظريته عن التطوّر من خلال الانتقاء الطبيعي، متأثراً بمقولات الجيولوجي الاسكتلندي تشارلز لايل، صديقه وراعيه. وانحاز لايل إلى فكرة تُعرف باسم «التكوين المُوحّد». ويشير المصطلح الغامض إلى مفهوم قوامه القول أن تاريخ الأرض لم يكن سوى تطوّر تدريجي. وإذ ثبتت تلك الفكرة في دماغ داروين، فقد انبثت صورة «التكوين المُوحّد» في صفحات كتاب «أصل الأنواع» وسطوره.

في مرحلة ما، جسّدت تلك الفكرة رداً على مقولة الكوارثية التي تشرح تاريخ الأرض باعتباره تعاقباً مستمراً لحوادث كارثية مثل الطوفان المذكور في التوراة. ولم تكن كلتا الفكرتين سوى وجهة إيديولوجية، فقدمتا حقائق منقوصة.

يعرف العلم راهناً عن تاريخ الأرض أكثر مما فعل داروين بكثير، من دون نية تسفيه جهوده.

وبات واضحاً أن إصراره على تقديم التطوّر التدريجي باعتباره القوة الوحيدة المُحرّكة لحركة الحياة على الأرض، يعدّ أمراً مستهجناً. صحيح أن التطور يسير بخطى متعاقبة بطيئة في أغلب الأوقات، لكن يحدث أيضاً، بين الفينة والفينة، أن تتسارع العملية نتيجة سلسلة من حوادث قوية، كمثل اصطدام نيزك كبير بالأرض في نهاية العصر الطبشوري. وفي غياب تلك الحوادث الصادمة، تبقى حال الكائنات مستقرة، وأحياناً لملايين السنين. لقد انجلى غبار المعركة التي نشبت بين فكرتَي «الكارثية» و«التكوين المُوحّد» المؤدلجتين، وظهر أن الحقيقة جافت كلتا الفكرتين. والأرجح أنها تكمن في مساحة ما بينهما.

الانقراض الجماعي: لم يكن الانقراض الجماعي في نهاية العصر الطبشوري، الذي شمل الديناصور، سوى حلقة في سلسلة من حوادث مماثلة شهدتها الحياة على الأرض.

وفي كل مرّة، تختفي مجموعات من النباتات والحيوانات، وبعضها يضم أنواعاً برمتها، ثم لا تُعاود الظهور البتة. وفي كل مرّة أيضاً، تتكاثر المجموعات الناجية على نحو انفجاري، وكأنها تنتصر للتنوّع، ولكي تملأ الثُغر التي فتحها الفناء. بعض الانقراضات نَجَمَت عن حوادث كوارثية مثل ضربات النيازك أو ثوران البراكين.

وجاء بعضها على نحو هادئ بعض الشيء، مثل التغيّر البطيء، ولكن الجذري، في مناخ الأرض. وراهناً، يتجمّع مزيد من الدلائل على وجود دورات كبرى في مناخ الكرة الأرضية، ربما اتصلت بحركة الكوكب الأزرق في الفضاء، والتي تسببت أحياناً بعصور جليدية قاسية، وفي أحيان أُخرى، عمّمت حرارة خانقة في مناطق واسعة من الكوكب الأزرق.

وكلما تعمق العلم في فهم تلك الأمور، بدا أن لتغيير المناخ اليد الطولى في الانقراضات الشاملة لمجموعات لا حصر لها من الأنواع الحيّة التي لم يبقَ منها إلا بعض المتحجّرات.

الحمام المسافر: لم تنجم الانقراضات كلها عن الكوارث الطبيعية. فقبل مئتي سنة، احتل الحمام المسافر رأس قائمة أكثر الطيور عدداً في شرق أميركا الشمالية ووسطها. وطار في أسراب متراصة، فحجب نور الشمس أحياناً، خصوصاً إبان مواسم هجراته. وبيع سَلْحُه في سوق نيويورك بأسعار زهيدة فاستخدم سماداً. وقدّر عالم الطيور ألكسندر ويلسون سرباً منه بنحو بليوني طير. قبل أقل من قرن، في ١ سبتمبر / أيلول ١٩١٤، قضى آخر طير من الحمام المُسافر (أنثى، اسمها مارثا) في حديقة حيوان سنسيناتي ولاية كونكتيكت. لقد قضت تلك الطيور بيد أسوأ قاتل شهده الكوكب الأزرق: الإنسان. لم يأمر أحد بإفناء الحمام المُسافر. والأرجح أن أحداً في بداية القرن التاسع عشر لم يفكر أن من الممكن أن يفنى نوع يمتلك تلك الكثافة عددياً، وخلال وقت قصير. وقد تواطأت تكنولوجيتان مؤثرتان: أسلاك التلغراف الكهربائي وبندقية الصيد، لتجعله هدفاً سهلاً للصيادين، خصوصاً أثناء مواسم الهجرة. ولم يصدر أي تشريع لحمايته.

تدمير البيئة: تحمل قصة انقراض الحمام المُسافر رسالة مُرعبة. ولا تقف كمثال منفرد عن الأثر السيئ الذي يستطيع التقدم التكنولوجي أن يُحدثه في البيئة وأنواع الحياة فيها. ومنذ شرع البشر في اختراق الغابات والتخلص من بعض أنواع النباتات، عرضوا تربة الأرض للانكشاف، وساهموا في إطلاق ظاهرة التصحّر.

وعندما كانت أعداد الناس ضئيلة، ووسائلهم التقنية محدودة، لم تُحدث تلك الأمور سوى ضرر يسير في الطبيعة. وخلال القرن التاسع عشر، تكاثرت الكمائن وتعاظمت قوتها، فاشتد ساعد الأذى، وانتشر التلوث. وفي منتصف القرن العشرين، دخل هجوم البشر على صحّة الكوكب مرحلة جديدة؛ إذ تضافرت عدّة عناصر، تشمل تلوث الهواء وتدمير الغلاف الجوي بواسطة مخلّفات السفر جواً ومركباته، وتلوّث البحار بالنفايات الصناعية، والتصيّد المنفلت للكائنات البحرية، وانبعاث آلاف من المواد الكيمياوية المُركّبة التي لم تألفها الكائنات في تاريخها؛ تضافرت لترفع من خطر حدوث انقراض جماعي من نوع لم تعرفه الأرض: فناء شرائح أساسية من أشكال الحياة على الأرض نتيجة نشاط أحد الأنواع الحيّة. وراهناً، تضاعفت مصادر الأذى، وتسارعت معدلات تدمير البيئة وهلاك الأنواع الحيّة فيها.

لم يعُد السؤال المطروح عن قرب حدوث انقراض أساسي، فذاك أمر يجري يومياً، بل بات السؤال مُتركزاً على المقدار الذي سيضرب به الفناء الجماعي الوشيك!

مصيبة العلم السيئ: يستدعي الحديث عن انقراض وشيك لعدّة أنواع على الأرض، سيرة عالم الجينات تروفيم ليتشنكو. وُلد ليتشنكو في بلدة «كارلوفكا» في أوكرانيا، في العام ١٨٩٨.

وتخرج في «معهد كييف للزراعة». وسرعان ما صار مثالاً للعالِم السيئ الذي تعميه شهوته للشهرة والسلطة عن الرويّة العلمية في السعي وراء الأدلة الفعلية. ويصعب حتى معرفة مدى تصديقه الهراء الذي روّج له. ما يتضح من سيرته أن رفضه نظريتي تشارلز داروين (التطوّر والانتقاء) وغريغور ماندل (الجينات)، وجّه ضربة ماحقة إلى علم البيولوجيا في روسيا دام أثرها طويلاً.

خلال الحرب العالمية الثانية، عندما أرّقت البلاد الحاجة إلى مزيد من المحاصيل، رأى ليتشنكو أن الوراثة ليست حكراً على الجينات، وأن من الممكن تغيير الصفات الوراثية في

النبات من خلال تغيير البيئة التي يعيش فيها. ويعني ذلك أن من المستطاع زيادة مردود النبات بين الموسم والتالي؛ حتى أنه روّج لإمكان أن ينمو الشعير ليُصبح قمحاً! وأعجب ستالين بتلك الموسيقى. وفي العام ١٩٤٠، عيّن ليتشنكو رئيساً لـ «معهد الجينات التابع لأكاديمية العلوم»، حيث قبع ربع قرن. فسيطرت أفكاره على علم البيولوجيا في الاتحاد السوفياتي.

وأخفى كثير من علماء الجينات السوفيات شكوكهم في آراء ليتشنكو لكي يستمروا في عملهم. وأما من خالفه، فإن الطرد من الوظيفة اعتبر أهون عقاب ممكن. وانتهى بعض سيئي الحظ إلى السجن، أو قضوا موتاً. وتقلصت سلطة ليتشنكو بعد وفاة ستالين في العام ١٩٥٦، لكنه احتفظ بمنصبه تسع سنوات أخرى. ولم تتخلّص روسيا من سرطان أفكار ليتشنكو إلاّ بوفاته في العام ١٩٦٥. وقد أحدث أذى لصورة علوم البيولوجيا في روسيا في العالم. تتضمن قصة ستالين وتابعه ليتشنكو مثالاً أخلاقياً عن الذين يلوون عنق العلم خدمة للإيديولوجيا.

وراهناً، تحوز الدول المتقدمة قوة وثروة بفضل العلوم والتكنولوجيا اللذين أُنتجا خلال قرون من الاكتشافات العلمية الدؤوب. ليس ثمة قانون يقول إن التقدّم حتمي، أو إنه إذا حدث فسيستمر. في تاريخ العلم كثير من الأمثلة التي تبرهن على العلاقة الوثيقة بين تقدم العلم وتنظيم المجتمع وطرائق تفكيرها. إذا خُنقت روح البحث والسؤال، يتوقف العلم عن التقدّم حتى في أكثر المجتمعات تقدماً. ومثلاً، يتعيّن على الذين يميلون إلى فرض رقابة على تدريس البيولوجيا التطورية في أميركا راهناً، أن يحذروا من مغبة أفعالهم. إن الأمة التي تقترع لمصلحة خنق العلم، إنما تمهّد لركودها الاقتصادي ولتفككها كأُمة.

كائنات فضائية بعيدة: في سياق الحديث عن العلم السيئ، يجدر المرور بموضوع الكائنات الفضائية. يُدعى أقرب النجوم إلى الأرض «سانتوري القريب»، وتفصله عنها ٤٫٣ سنوات ضوئية، أي ما يُعادل ٤٠ تريليون كيلومتر. لنفكر قليلاً في الرقم...

انتقال النموذج العلمي: يعتقد كثيرون بأن الاكتشاف العلمي يأتي من عملية تدريجية من التراكم للمعارف الجديدة التي تضاف إلى الأكوام التي سبقتها. ويقود قليل من التدقيق إلى تسمية هذه الوجهة «قصر الرمل» في العلم! إنها تميل إلى رسم العلماء، بغض النظر عن توثّبهم وقدراتهم، وكأنهم أطفال في شاطئ من رمال، يضيفون الأكوام إلى الأكوام. الأرجح أنه وصف ينطبق على ٩٨ في المئة من التقدّم العلمي. وتلزم صورة مختلفة جذرياً لفهم البقية التي ربما هي أكثر أهمية وحسماً.

وبتتبع تاريخي، تظهر بوضوح الأهمية الفائقة للاكتشافات العلمية الكبرى، تلك التي أعادت نَظْم تفكير العلماء ومفاهيمهم والطريقة التي ينظرون بها إلى المادة والكون، والأساليب التي ينتهجونها في استخلاص الحقائق من ملاحظاتهم وتجاربهم. وتصدّى لعرض هذه العملية من إعادة نَظْم التفكير العلمي، كتاب بنية الثورات العلمية، الذي ألّفه توماس كون (١٩٢٢ ـ ١٩٩٦). وقد عمل كون أستاذاً للغويات والفلسفة في «معهد ماساشوستس للتقنية».

وتتلخّص مقولة كون في أن الاكتشاف العلمي يتبع خطاً هادئاً وتراكمياً معظم الأوقات، حيث تتراكم المعارف ضمن ما سمّاه «الوضع الطبيعي للعلم». لكن، وعلى عكس صورة الهدوء، يمرّ العلم بفترات فوّارة، إذ يندفع «نموذج علمي» لم يكن موجوداً من قبل، ليقلب تلك الصورة على نحو ثوري. يحمل النموذج الصاعد نظرة جديدة إلى الحقائق التي يحاول العلم تفسيرها. وما إن يُثبت النموذج الثوري قدرته على تفسير الظواهر التي كانت غامضة قبلاً، حتى يُدخل العلم في مرحلة من الانتفاض، لكي يغيّر تفكيره القديم ويحلّ النموذج الجديد محله. ووصف كون ذلك الاستبدال بأنه «نقلة في النموذج العلمي». وبعد وقت مُناسب، يُصبح النموذج العلمي المبتكر سائداً، ويتقبله المجتمع العلمي. ويوصل النموذج المبتكر إلى اكتشافات لم تكن ممكنة قبلاً. ويدوم الأمر لسيادته قرنين أو ثلاثة قرون، قبل أن تتكرر تلك العملية ثانية، فتجري إطاحته، ويُستبدل بنموذج علمي جديد وهكذا. لا يحمل النموذج المبتكر قوة تدمير بالضرورة. وبالعودة إلى

تشبيه الشاطئ والرمال، فإن الاختراق العلمي الرئيس لا يعني هدم تلك القلعة الرملية، بل يُشبه الأمر أن يأتي أحدهم ليقترح بناء شيء أقوى وأصلب، بدلاً من القلعة الهشّة. وإذا قُبلت الفكرة، ينطلق العمل بحماسة ما كانت لتحصل لو استمر الرضى بقلعة الرمل. وفي ما يأتي بعض الثورات العلمية التي رصدها كون في مسار العلم خلال القرون الستة السابقة. وتُمثّل جميعها ظاهرة «انتقال النموذج العلمي» التي رسمها كون. وتلا كل ثورة منها تسارع في إيقاع الاكتشافات العلمية، استمر إلى زمن مديد.

- اعتبار الشمس مركز نظام لمجموعة الكواكب السيّارة التابعة لها.
- قانون الجاذبية الكونية.
- الجدول الدوري للعناصر الكيمياوية.
- التطوّر عبرالانتقاء الطبيعي.
- صورة الذرّة التي تُشبه النظام الشمسي.
- النسبية في نظريتيها العامة والخاصة.
- الكون المتوسِّع.
- تركيب الحمض النووي «دي أن أي».
- الصفائح التكتونية.

لقد مرّ العلم بمسار ملؤه الإثارة، لكن القصة لم تتم فصولاً إلى الآن. وليس من المجازفة توقّع تراكم في المعارف خلال نصف القرن المقبل، على نحو أسرع مما حدث خلال الأعوام الخمسين المنصرمة. والأرجح أن النماذج العلمية الجذرية ستواصل عملية تجددها.

ما الذي نستطيع استخلاصه من تلك الرحلة مع ألفي سنة من الاكتشافات العلمية؟ من الممكن استنتاج أن التقدّم العلمي ينجم من اجتماع العوامل الآتية:

- فائض من الوقت يكفي للتفكير في العلم وإثارة النقاش حوله.
- فُرص لمشاركة الآراء بين مختلف العلماء.

ـ حرية سياسية ودينية وثقافية تُحرر العلوم من القيود على الفكر.
ـ توافر تكنولوجيا مناسبة.

ومن المهم أن تتضافر تلك العوامل الأربعة لتوليد أسئلة أكثر جرأة، وللتوصل إلى أجوبة لم تكن في البال.

في أزمنة ماضية، تصدّى لمهمات العلم واكتشافاته حفنة من هواة وأكاديميين، في حين أننا اليوم نملك جيوشاً من العلماء المتفرغين، رجالاً ونساء. وأدت التطورات المعاصرة في الاتصالات، وخصوصاً الإنترنت، إلى توافر فُرص لنسج شبكات علمية في أنحاء العالم. ويُفيد ذلك في تناقل المعلومات المُستجدة بسرعة لم تكن في خيال من عاشوا قبل ٢٥ سنة. وارتقت التكنولوجيا المتاحة راهناً، وخصوصاً الكومبيوترات القوية، إلى مستويات أشد علواً مما مرّ في التاريخ الإنساني. وعلى رغم بعض النقاط المظلمة، تنتشر ثقافة تساند حرية البحث العلمي، بحيث باتت جزءاً من الملامح المميزة للأزمنة الحديثة. ولربما أحس البعض بأن الكثير قد اكتُشف فعلياً، إلا أن تاريخ العلم يُحدّث عن خطأ جسيم في ذلك الانطباع بالرضى!

ومنذ كوبرنيكوس إلى مشروع الجينوم، حُصرت المغامرة العلمية الكبرى بأوروبا وأميركا الشمالية، حيث حدث تراكم المال والترفيه والتكنولوجيا العسكرية، فأدّى ذلك إلى احتكار نظري للعلم. ولكن تجربة العلم في القرن السابع عشر تشير إلى أن الأمور لا تستمر على المنوال نفسه دوماً، فالأمم المتقدمة علمياً حينذاك لم تكن أوفر ذكاء من غيرها، لكن الكثير من الحظ الطيّب قد حالفها فعلياً. وفي الفترة الأخيرة، وبعد انتظار طويل، عادت الهند والصين مُجدداً للعب دور مهم في عالم العلم. وشرعتا في إظهار قدراتهما في هذا المجال. والأرجح أن يُساعد ذلك على رفع وتيرة التقدم العلمي.

مُلحق ١: قيـاس الأشيـاء

الأعداد الكبيرة جداً والصغيرة جداً: مُذ شرع العلم في الاهتمام بالأشياء الفائقة الصغر والهائلة الكبر، ظهرت الحاجة إلى أرقام تتوافق مع تلك القياسات. فمثلاً، عندما بات الكيلوواط صغيراً بالقياس على ما تولده التوربينات من كهرباء، ظهر الميغاواط ليحل مكانه. وعندما لم يعد المليمتر يكفي لقياس الأشياء الفائقة الدقّة، ظهر الميكرومتر.

وراهناً، بات الميغاواط صغيراً، والميكرومتر كبيراً، ولذا يستعمل العلماء مجموعة من المقاييس يُشار اليها كلواحق، وهي تتلاءم أكثر مع مستويات أعمالهم.

أسماء اللواحق	الرمز		المقدار
تيرا	تي	T	١ مع ١٢ صفراً
غيغا	جي	G	١ مع تسعة أصفار
ميغا	ام	M	١ مع ستة أصفار
كيلو	كي	K	١ مع ثلاثة أصفار
هكتو	اتش	H	١ مع صفرين
ديكا	دي ايه	DA	١ مع صفر
دسي	دي	D	١ مقسوماً على عشرة
سنتي	سي	C	١ مقسوماً على مئة
مللي	ام	M	١ مقسوماً على ألف
ميكرو	ميو	U	١ مقسوماً على مليون
نانو	ان	N	١ مقسوماً على بليون
بيكو	بي	P	١ مقسوماً على ألف بليون

يمكن استعمال تلك اللواحق مع أي وحدة قياس. فمثلاً، «البيكوثانية» تساوي واحداً من المليون من المليون من الثانية، وتعادل «التيراواط» ألف مليون كيلوواط.

وكثيراً ما يُشار إلى الجزء من المليون من المتر، باعتباره ميكروناً، وليس ميكرومتراً.

قياس الحرارة: ثمة فرق بين الحرارة والسخونة؛ إذ تتساوى درجتا حرارة إبريق الشاي وكوب الماء المغلي، لكن الإبريق يحتوي على كمية أكبر من الماء، وبالتالي كمية أكبر من السخونة. ربما بدا غريباً القول إن سطلاً من الثلج يحتوي على كم من السخونة أكثر مما تحويه كأس من الثلج، إذا تساوت برودتهما. والمعروف أن السخونة تُفقد كلما انخفضت الحرارة. وعندما يصل السائل إلى درجة التجمد، يبقى فيه بعض السخونة التي يفقدها أكثر كلما خُفّضت درجة حرارته.

ولا تستمر خسارة السخونة إلى ما لا نهاية، لأن لكمية السخونة في المادة حدوداً. وعند درجة ما دون الصفر المئوي بـ٢٧٣، لا يتبقى أي سخونة لتُفقد، ومن ثم لا تنخفض الحرارة إلى ما دون ذلك. ويشير الفيزيائيون إلى تلك الدرجة باسم الصفر المطلق، وتعتبر نقطة انطلاق لسلم من قياس الحرارة يحمل اسم «درجات كالفن». كذلك يشيع استعمال مقياسين للحرارة: الفهرنهايت والسيلسيوس. وتُعرف الأخيرة أيضاً باسم الدرجات المئوية «سنتيغراد».

وقد ابتكر الفيزيائي الألماني ـ الهولندي دانيال فهرنهايت مقياس الحرارة الذي يحمل اسمه. وقد وُلد في العام ١٦٨٦ في مدينة «دانزغ» (التي تُعرف راهناً باسم «غدانسك»)، لأب يعمل في التجارة. وبعد وفاة والديه، انتقل إلى أمستردام، حيث أنشأ محترفاً لصنع أدوات قياس الطقس. وفي العام ١٧١٤، خطر له استعمال الزئبق في ميازين الحرارة، بدلاً مما كان شائعاً من استعمال الكحول. ومكّن ذلك من قياس درجات الحرارة التي تقل عن مستوى تجمّد الماء، وكذلك التي تزيد كثيراً على نقطة غليانه. ولتجنّب استعمال الكثير من الأرقام السلبية في الأيام الباردة، أضاف بعض الملح إلى الماء لخفض درجة تجمّده.

وعرّف فهرنهايت الصفر في مقياسه باعتباره درجة تحوّل الماء المُمَلّح ثلجاً. وجعل نقطة

تجمّد الماء الصافي عند ٣٢ درجة من ذلك المقياس، ونقطة غليان الماء عند ٢١٢ درجة. وفي العام ١٧٢٤، ضمنت له تلك الاكتشافات عضوية في «الجمعية الملكية»، وتبنّت بريطانيا وهولندا نظامه في قياس الحرارة.

صَنع مقياس الحرارة المئوي (سيلسيوس) فلكي سويدي عاصر فهرنهايت، اسمه أنديرس سيلسيوس. وُلد في بلدة «أوبسالا»، في العام ١٧٠١، في عائلة اشتهرت بالاهتمام بالعلم. وسرعان ما بات أستاذاً للفلك في جامعة «أوبسالا». وفي العام ١٧٤٢، نشر ورقة عن نظام جديد لقياس الحرارة بواسطة الدرجات المئوية (سنتيغراد). وجعل نقطة تجمّد الماء عند الصفر، وغليانه عند درجة مئة مئوية. وشكّل ذلك منطلقاً لنظام القياس بالدرجات المئوية، الذي شاع في البلدان غير الإنكليزية، ولاءم عمل العلماء في العالم. وفي العام ١٩٤٨، اتُّفق على الإشارة إليه باسم «مقياس سيلسيوس».

يتداول الفيزيائيون راهناً مصطلح كالفن، ويستخدم تكريماً للفيزيائي الإنكليزي وليام تومسون (لورد كالفن) الذي أدخل مفهوم الصفر المُطلق، ويُساوي ٢٧٣ درجة تحت الصفر. ويشار إليه باعتباره صفر كالفن، فتكون القياسات كلها إيجابية.

ثمة قوانين للتحويل من مقياس للحرارة إلى آخر، وتأتي على النحو الآتي:

للتحويل من فهرنهايت إلى سيلسيوس:

اطرحْ ٣٢، اقسم على ٩، ثم اضربِ الحاصل بخمسة.

مثال: ٢١٢ فهرنهايت ناقص ٣٢ = ١٨٠، و١٨٠ ÷ ٩= ٢٠، و٢٠×٥= ١٠٠ سيلسيوس.

للتحويل من سيلسيوس إلى فهرنهايت:

اقسمْ على ٥، اضربْ بتسعة، ثم أضف ٣٢.

مثال: ١٠٠سيلسيوس÷٥=٢٠، و٢٠×٩=١٨٠، و١٨٠+٣٢=٢١٢ فهرنهايت.

للتحويل من سيلسيوس إلى كالفن:

أضف ٢٧٣

مثال: صفر مئوي+٢٧٣= ٢٧٣ كالفن.

بعض المقاييس العالمية: في النظام العالمي (يُشار إليه بحرفي «أس آي» (SI) بالإنكليزية) يُعرَّف المتر بأنه المسافة التي يُسافرها الضوء في الفراغ خلال ٢٩٩٧٩٢٤٥٨ / ١ من الثانية. ويُعرف النظام عينه الثانية باعتباره ٩١٩٢٦٣١٧٧٠ اهتزازاً من ذرة السيزيوم، كما تقيسها الساعات الذريّة.

مُلحق ٢: جـداول تاريخيـة

جدول تاريخي لعلم الفلك

	قبل الميلاد
٣٠٠٠*	توصل البابليون إلى حسابات عن كسوف الشمس.
٢٤٠٠*	تبنى الفلكيون الصينيون خط الاعتدال الشمسي أساساً لقياساتهم، قبل «تايكو براهيه» بنحو ٤٠٠٠ سنة.
١٨٠٠*	وضع البابليون خرائط عن حركة النجوم والكواكب.
١٦٠٠*	عرفت بلاد آشور مجموعة «دائرة الأبراج» النجمية.
٥٣٠*	أكّد فيثاغورس أن الأرض كروية.
٣٥٢	وضع فلكيو الصين سجلاً عن أول نجم جديد «نوفا».
٢٧٠*	احتسب اريستاركوس (من ساموس) المسافة بين الأرض والشمس، واقترح أن الكواكب تدور حول الشمس.
٢٦٠*	قدّر ايراتوثينث محيط الكرة الأرضية.
١٣٠*	احتسب هيباركوس حجم القمر وبعده عن الأرض.
	بعد الميلاد
١٤٠*	كتب بطليموس مؤلفه «ميغال سينتاكس». وثبت نموذجه عن النظام الشمسي مدة ١٤٠٠ عام.
٨٢٧	ترجم العرب كتاب بطليموس باسم «المجسطي».
٨٨٠*	احتسب الفلكي العربي البتّاني السنة الشمسية.
٩٤٠*	ظهرت خريطة صينية للنجوم تستعمل الخطوط المستقيمة لإبراز خطوط العرض والطول (خطوط مركاتور).
١٠٠٠*	رسم الفلكي ابن يونس خريطة «نجوم الحكمة» في القاهرة.
١١٧٥	ترجمة أولى باللاتينية لكتاب «المجسطي» عن العربية.

* تاريخ تقريبي

١٥٤٣	نشر كتاب عن دوران الأجرام السماوية لكوبرنيكوس.
١٥٧٢	رصد تايكو براهيه «سوبر نوفا».
١٦٠٩	صاغ كيبلر قوانينه عن حركة النجوم.
١٦١٠	استعمل غاليليو التيليسكوب وتوصل إلى أن المجرة تتألف من ملايين النجوم.
١٦٧٢	احتسب كاسيني المسافات التي تفصل الشمس عن الأرض وباقي الكواكب، بهامش خطأ أقل من ١ في المئة.
١٦٨٧	نشر كتاب «برينكيبيا» لنيوتن الذي شرح نظريته عن الجاذبية الكونية.
١٧٩٦	اقترح لابلاس أن النظام الشمسي تكوّن من غمامة غبار.
١٨١٤	حلّل فون فرانهوفر الطيف الضوئي للشمس.
١٨٣٨	أجرى بيسيل أول حساب عن أبعد نجم عن الأرض.
١٩١٢	درس ليفيت مسافات بين بعض النجوم المتحركة، ممهداً الطريق لمعرفة المسافات بين المجرات.
١٩١٢	نشر راسل نظريته عن تكوّن النجوم.
١٩١٦	أعلن آينشتاين نظريته عن النسبية.
١٩١٩	رصد أيدنغتون الكسوف وحصل على براهين عن نظرية آينشتاين.
١٩٢٤	حلّل هابل ذراعي «سديم أندروميدا» وأثبت أنهما تفصلان تلك المجرّة عن مجرّة «درب التبّانة».
١٩٢٨	اكتشف باين أن الأغلفة الجوية لكثير من النجوم تتألف من الهيدروجين.
١٩٢٩	فسّر هابل ظاهرة «الانزياح صوب الأحمر» في ضوء النجوم باعتبارها دليلاً على توسّع الكون.
١٩٣٨	اقترح بيث وفايزساكر أن حرارة الشمس تأتي من تحوّل الهيدروجين إلى هيليوم.
١٩٤٨	قدّم غاموه وألفر نظرية «البيغ ـ بانغ» كتفسير لأصل الكون.
١٩٦٥	تعّرف ديكه إلى الأشعة في خلفية الكون، مقدماً برهاناً عن نظرية «بيغ ـ بانغ».
١٩٨٧	أعطت المراقبة لـ«سوبر نوفا» في «الغيمة الماجلانية الكبرى» تأكيداً للنموذج الراهن عن حياة النجوم.
١٩٩٥	اكتشف مايور وكيلوز كوكباً سيّاراً يدور حول نجم على بعد ٥٠ سنة ضوئية من الأرض.

جدول تاريخي لعلم البيولوجيا

قبل الميلاد	
٣٥٠*	صنّف أرسطو ٥٠٠ نوع حيواني في ٨ فئات.
٣٠٠*	أسس ثيوقراطس علم النبات.
بعد الميلاد	
١٥٠*	لخّص غالين المعارف الطبية المتوافرة لديه.
١٠٠٠*	كتب ابن سينا مؤلف «القانون في الطب».
١١٨٠*	تُرجم «غالين» إلى اللاتينية.
١٥٥١	وضع غينسر «هيستوريا انيمالوم» مفتتحاً عصر علم الحيوان الحديث.
١٦٠٤	نشر فابريكوس دراسة مقارنة عن أرحام الحيوانات.
١٦١٤	ألّف سانكتوريوس كتاباً أول لدرس التمثل الغذائي هو «دي ستاتيكا ميديسنا».
١٦٢٨	ظهر كتاب هارفي «عن حركة القلب والدم».
١٦٦٥	ألّف هوك كتاب «ميكروغرافيا».
١٦٧٠	أسس راي لاعتماد الأنواع أساساً في التصنيف الحيواني.
١٦٧٧	وصف ليفونهوك الحوين المنوي.
١٧٣٥	وضع لينايوس كتاب «نظام الطبيعة».
١٨٠٠	ظهر كتاب غوفيير «دروس في التشريح المُقارن».
١٨٠٩	كتب لامارك مؤلف «فلسفة علم الحيوان».
١٨٢٦	وصف باير بويضة الأُنثى في الحيوانات اللبونة.
١٨٥٩	ظهر كتاب «أصل الأنواع» لتشارلز داروين.
١٨٦٥	نشر غريغور ماندل مقالاً عن نظرياته في الجينات.
١٨٦٨	تعرّف باستور إلى البكتيريا المسببة لمرض دودة القزّ.
١٨٦٩	اكتشف ميشير الحمض النووي، وسمّاه «نيوكليين».

* تاريخ تقريبي

١٨٧١	وضع داروين كتاب «أصل الإنسان».
١٨٧٨	وصف كوهن الإنزيم.
١٨٩٨	تعرّف بييرنيكه إلى فيروس «موزاييك تبقّع التبغ».
١٩٠٠	إعادة اكتشاف أعمال ماندل في الوراثة.
١٩٠١	ابتكر دو فريه مبدأ الطفرة الجينية.
١٩٠٢	فرغ سوتون من كتاب « نظرية الكروموزوم في الوراثة».
١٩٢٦	برهن سامنر أن الانزيمات هي بروتينات.
١٩٣٢	كتب مورغان «الأسس العلمية للوراثة».
١٩٣٤	أنجز بيرنال صورة أولى باستعمال أشعة إكس.
١٩٣٧	ألّف دوبزانسكي كتاب« الجينات وأصل الأنواع ».
١٩٣٨	العثور على أنواع حيوانية انقرضت قبل ٦٠ مليون سنة.
١٩٤٤	برهن أفري أن الحمض النووي هو ناقل الوراثة.
١٩٥٣	كتب تنبرغن مؤلفاً تفصيلياً عن سمك الرنكه.
١٩٥٣	وصف واطسن وكريك تركيب حمض الوراثة.
١٩٧٥	نادى ويلسون بمفهوم «السوسيولوجيا البيولوجية».
١٩٧٧	اقترح ووزه شكلاً بدائياً ثالثاً للحياة.
١٩٩٠	التعرف إلى الجين المسؤول عن مرض التكيّس الليفي.
٢٠٠١	رسم الخريطة الكاملة للجينوم البشري.

جدول تاريخي لعلم الكيمياء

قبل الميلاد

*٣٠٠٠	صُنع البرونز من النحاس ومعادن أخرى في مصر والشرق الاوسط.

* تاريخ تقريبي.

بعد الميلاد

١٦٦١	ميّز بويل أنواع المُركّبات الكيمياوية في كتابه «الكيميائي الشكّاك».
١٦٦٩	اكتشف براند الفوسفور.
١٧٥٦	اكتشف بلاك ثاني أوكسيد الكاربون.
١٧٧٢	اكتشف دانيال رذرفورد النيتروجين.
١٧٧٣	اكتشف شيلّه وبريستلي، كل على حدة، الأوكسجين.
١٧٧٦	عزل كافنديش النيتروجين.
١٧٨٤	بيّن كافنديش أن الماء يتألف من أوكسجين وهيدروجين.
١٧٨٩	صنّف لافوازييه ٣٣ عنصراً في كتابه «بحث أولي عن الكيمياء».
١٧٩١	برهن ريختر أن الحمض والقلوي يتفاعلان بنسب ثابتة.
١٧٩٩	قانون بروست: المواد تتفاعل بنسب ثابتة قياساً على كتلتها.
١٨٠٧	استعمل دافي التحليل الكهربائي لعزل البوتاسيوم والصوديوم.
١٨٠٨	شرح دالتون النظرية الذرية في كتابه «نظام فلسفي جديد للكيمياء».
١٨١١	نحت أفاغادرو مُصطلح الجزيء، وصاغ قانوناً باسمه. وابتكر برزيليوس نظام الرموز الكيمياوية الحديث.
١٨٢٨	حضّر وهلر «اليوريا» من مواد غير عضوية.
١٨٣٥*	صاغ فراداي قوانين التحليل الكهربائي.
١٨٤٥	ابتكر هوفمان مادة الأنيلين الاصطناعية.
١٨٤٦	اكتشف شونبين بارود القطن مصادفة.
١٨٥٢	شرح فرانكلاند مفهوم قيمة التكافؤ بالنسبة إلى العناصر الكيمياوية.
١٨٥٦	ركّب بيركن اللون الخُبّازي.
١٨٥٨	فسّر كيكوله تركيب المُركّبات العضوية الكبرى بطريقة بسيطة.
١٨٥٩	استعمل كيرشوف وبونسين المطياف في تعريف العناصر.
١٨٦٩	نشر ماندلييف «الجدول الدوري».

١٨٧٥	اكتشاف عنصرَي الغاليوم والسكانديوم، بحسب ما توقّع ماندلييف.
١٨٧٧	حصل سوان وبيرنيغود على براءة اختراع الحرير الاصطناعي.
١٨٨٧	أعطى ارهينيوس شروحاً لقوانين فاراداي في التحليل الكهربائي.
١٨٩٨	اكتشف ماري وبيار كوري الراديوم والبلوتونيوم.
١٩٠٨	طوّر هابر عملية استخراج النيتروجين من الهواء لصنع الأمونيا.
١٩١٣	صاغ موسلي قوانينه عن الأعداد الذريّة.
١٩١٦	ظهور نظرية التشارك في الالكترونات على يد لويس.
١٩١٩	لانغمور يشرح قيمة التكافؤ من خلال التركيب الذري للعناصر.
١٩٢٣	عرّف برونستد الحمض والقلوي اعتماداً على أيونات الهيدروجين.
١٩٣٢	اكتشف يوري الديتريوم.
١٩٣٣	ركّب سغري التكنيتيوم: أول عنصر كيمياوي اصطناعي.
١٩٣٩	كتب باولنغ مؤلف «طبيعة الرابط الكيمياوي».
١٩٤٠	اكتشف كامن الكاربون ١٤.
١٩٤٠	صنّع سيبورغ وماكميلان أول عنصر مُشع يفوق اليورانيوم وزناً.
بين ١٩٤٠ و ١٩٨٥	اكتشاف ١٤ عنصراً مُشعاً تفوق اليورانيوم وزناً.
١٩٨٥	اكتشف كروتو وسمالي الكاربون العملاق.

جدول تاريخي لعلم الأرض

قبل الميلاد

٥٧٠*	رأى زينوفان في الأصداف المتحجرة دليلاً على قدم الأرض.

بعد الميلاد

١٣٢	ابتكر زهانغ هينغ مجسّاً للهزات الأرضية.
١٥١٧	اقترح فراكاستورو أن المتحجرات بقايا لمخلوقات قديمة.

* تاريخ تقريبي.

١٧٤٣	رسم باكيه الخريطة الجيولوجية الأولى.
١٧٤٤	نشر لومونوسوف كتاباً شرح فيه ٣٠٠٠ معدن.
١٧٦٣	ألّف غوتار ولافوازييه أطلساً عن معادن فرنسا.
١٧٧٠	رسم بنجامين فرانكلين خريطة عن منطقة «غالف ستريم».
١٧٧٤	اقترح وارنر نظاماً رسمياً لتصنيف المعادن.
١٧٧٩	نظَّرَ بوفون أن عمر الأرض يفوق ٧٥ الف سنة.
١٧٨٥	وضع هوتون كتاب «نظرية الأرض».
١٧٩٥	تعرّف كويفر الى بقايا الزاحف العملاق موساسور.
١٧٩٨	حدّد كافنديش كتلة الأرض ووزنها.
١٧٩٩	عرَّفَ هامبولدت الحقبة الجيوراسية.
١٨٠٩	رسم ماكليور خريطة جيولوجية لشرق الولايات المتحدة.
١٨١١	شرح كويفر نظرية الانقراضات الكارثية.
١٨١٥	استعمل سميث المتحجرات لتقدير عمر طبقات الصخور.
١٨٢٢	التعرّف الى الحقبتين الطبشورية والفحمية.
١٨٣١	ألّف لايل كتاب «مبادئ الجيولوجيا».
١٨٣٥	التعرّف الى الحقبتين: الكامبري والسيليوري.
١٨٣٧	روّج أغاسيز لمفهوم «العصر الجليدي».
١٨٤٢	نحت أوين كلمة «ديناصور».
١٨٤٢	كتب داروين «تركيب الشعاب المرجانية وتوزيعها».
١٨٥٥	مهّد موراي لعلم المحيطات بكتابه «الجغرافيا الفيزيائية للبحر».
١٨٦٦	أشار دوبري إلى أن نواة الأرض مُكوّنة من نيكل وحديد.
١٩٠٦	استعمل أولدهام موجات الزلازل دليلاً إلى نواة الأرض.
١٩٠٩	اكتشف موهوروفيشيك الحدود بين قشرة الأرض ونواتها.
١٩١٢	شرح فاغنر نظريته عن زحف القارات. قدّم ماتوياما أدلة على انقلاب دوري في مغناطيس الأرض.

١٩٣٥	وضع ريختر مقياساً للزلازل.
١٩٥٣	استنتج باترسون أن عمر الأرض ٤,٦ بليون سنة.
١٩٥٤	عثر بارغورن وتايلر على متحجر أقدم بنحو ١,٥ بليون سنة من كل ما اكتشف من متحجرات قبله.
١٩٥٨	أثبت باخوس وهرزنبرغ أن للأرض قلباً مغناطيسياً.
١٩٦١	شرح دايتز وهيس نظريتهما عن تكوّن قيعان البحار.
١٩٦٨	اكتشف بارغورن دلائل عن حياة ترجع الى ٣ بلايين سنة.
١٩٨٠	وضع ألفاريز شرحاً عن الحدّ بين العصرين الطبشوري والثّلي.
١٩٨٧	وكالة «ناسا» تجد أدلة على وجود مسطّحات تكتونية.
١٩٩٩	ظهور أدلة على حدوث ظاهرة تُشبه «النينو» قبل ١٥ الف سنة.

جدول تاريخي لعلم الفيزياء

قبل الميلاد

٤٣٠*	خمّن ديموقراطيس أن أنواع المادة كلّها مكوّنة من ذرّة لا تتجزأ.
٢٥٠*	اكتشف أرخميدس قوانين الكثافة التي تتحكم بالأجسام الطافية.

بعد الميلاد

١٠٠٠*	وضع العالم العربي ابن الهيثم أسس علم الضوئيات. وشرح انتقال الضوء وانعكاسه، إضافة الى تفسير عمل العدسات.
١٥٩٠	وضع غاليليو مؤلّفه «عن الحركة وعن العلوم الميكانيكية».
١٦٢١	بيّن سنيل القوانين التي تتحكم بانعكاس الضوء.
١٦٣٢	حظرت الكنيسة كتاب غاليليو «حوار بين النظامين الرئيسين في العالم».
١٦٣٨	برهن غاليليو أن الجسم الساقط يسافر مسافة تزيد مع الوقت.
١٦٧٦	استعمل رويمر أقمار المشتري لقياس سرعة الضوء.

*تاريخ تقريبي.

١٦٨٧	نشر نيوتن كتابه «البرينكيبيا» وشرح فيه نظرية الجاذبية الكونية.
١٦٩٠	وصف هيغنز نظريته عن موجات الضوء في «مقال عن الضوء».
١٧٠٤	شرح نيوتن نظرياته عن سلوك موجات الضوء في الضوئيات.
١٧٦٢	اكتشاف الحرارة الكامنة والمُحدّدة على يد بلاك.
١٧٩٨	احتسب كافنديش مقدار الجاذبية الأرضية.
١٨٠٠	نجح فولتا في توليد أول تيار كهرباء في نوعه تاريخياً.
١٨٠٣	اقترح دالتون أن المادة مكوّنة من ذرات.
١٨١١	صاغ أفوغادرو قانونه عن العدد الثابت من الجزيئيات في الغاز.
١٨٢٠	اكتشف أورستيد الكهرومغناطيسية.
١٨٢٧	وضع أمبير قوانينه عن الكهرومغناطيسية.
١٨٣١	ولّدَ فراداي وهنري، كلٌ على حدة، تيار كهرباء من المغناطيس.
١٨٤٧	وضع جول وماير، كلٌ على حدة، قانون حفظ الطاقة.
١٨٥٠	استنبط كالوسيوس القانون الثاني للديناميكا الحرارية.
١٨٥١	أدخل كالفن مفهوم الصفر المُطلق.
١٨٧٣	أوجد ماكسويل الكهرومغناطيسية بكتابه «الكهرباء والمغناطيس».
١٨٨٧	برهن ميكلسون ومورلي أن سرعة الضوء مستقلة عن الأرض.
١٨٨٨	تقصى هيرتز موجات الراديو وصنع مقياساً لها.
١٨٩٥	اكتشف رونتغن «أشعة ـ إكس».
١٨٩٧	اكتشف جوزيف تومسون الإلكترون.
١٨٩٨	ابتكر الزوجان كوري النشاط المُشع واسمه.
١٩٠٠	أدخل بلانك مفهوم «الكوانتا» على النظرية الكمومية.
١٩٠٥	نشر آينشتاين نظريته عن الجاذبية الخاصة.
١٩١١	عرض رذرفورد نموذجه عن الذرّة التي تُشبه النظام الشمسي.
١٩١٢	بيّن بور أن الإلكترون يدور في الذرة ضمن مدارات محدّدة.

١٩١٦	أنجز آينشتاين نظرية النسبية العامة.
١٩٢٤	فطن دو بروغلي إلى السلوك المزدوج الموجي ـ الجسيمي للذرّة.
١٩٢٧	روّج هايزنبرغ لمبدأ عدم التيقن.
١٩٣٢	عثر شادويك على النيوترون في قلب نواة الذرة.
١٩٣٩	نشرت ميتنر بحثاً عن شطر ذرّة اليورانيوم.
١٩٤٢	توصّل فرمي وفريقه إلى السيطرة على الانشطار النووي.
١٩٤٧	طور فايمان وسوينغر وتوموناغا أسس الكهروديناميكا الكمومية.
١٩٥٥	رأى العلماء الذرات بصورة مباشرة، للمرة الأولى تاريخياً.
١٩٦٤	اقترح جيل ـ مان أن المُكوّنات الذرية الثقيلة تتألف من كواركات.
١٩٨٦	اكتشف مولر وبيدنورز التوصيل الفائق.
	رُصدت قفزات كمومية للذرات المنفردة، للمرة الأولى تاريخياً.

التكنولوجيا العلمية

قبل الميلاد

١٥٠٠*	تحتمس الثالث ينصب «مسلة كليوباترا» لقياس الزمن والفصول.
١٠٠٠*	ظهرت الكتابة بالحروف الأبجدية في شرق المتوسط.
١٣٢*	ابتكر زانغ هينغ أول مجس للزلازل.

بعد الميلاد

١٠٠*	استعمال الورق للكتابة في الصين.
٧١٠*	أول ممارسة معروفة للطباعة على الورق في الصين.
٨٤٦	أول كتاب مطبوع ورقياً في الصين، بحسب التاريخ المعروف.
١٢٥٠*	استعمال نظارات بعدسات شفّافة من الكوارتز في الصين وأوروبا.

* تاريخ تقريبي.

١٣١٠*	ظهور أول للساعات الميكانيكية في أوروبا.
١٤٥٥	ظهور أول مطبعة متحركة على يد غوتنبرغ الذي طبع التوراة.
١٥٦٩	بنى تايكو براهيه مرصداً لمراقبة النجوم.
١٦٠٠*	أنجز يانسن أول ميكروسكوب مُكوّن من أكثر من عدسة.
١٦٠٩	صنع غاليليو تيليسكوبه الأول.
١٦٥٧	ابتكر هيغنز رقّاص الساعة.
١٧٦٤	اجتاز جهاز هاريسون لضبط التوقيت مرحلة التجارب.
١٨١٧	طوّر فون فرانهوفر موشور زجاج ليستعمله في تحليل ألوان الطيف.
١٨٢٧	أدخل ليستر تحسينات أساسية على الميكروسكوب.
١٨٤٥	ركّب روس تيليسكوباً بعدسة قطرها ١,٨ متراً.
١٨٥٦	اخترع بالميري آلة لرصد الزلازل ورسم خطوطها.
١٨٦٠	أسس كيرشوف لظهور علم رصد النجوم عبر تحليل طيف أضوائها.
١٩٠٦	ابتكر تسفيت تحليل الطيف الضوئي ورقياً.
١٩٠٧	طوّر بولتوود أسلوباً للتعرف على تاريخ الأشياء بأشعة اليورانيوم.
١٩١٢	تعرّف فون لوه الى التركيب الذري للمواد بواسطة أشعة اكس.
١٩١٧	تركيب تيليسكوب بعدسة قطرها ٢,٥ متراً في مرصد «ماونت نيلسون».
١٩٣٢	اختراع التيليسكوب الإلكتروني.
١٩٣٢	صمّم لورانس مُعالجاً للمُكوّنات الدقيقة للذرّة.
١٩٣٦	أرسى تورينغ أسس نظرية الذكاء الاصطناعي.
١٩٣٧	أنجز ريبر تيليسكوب الراديو.
١٩٤٢	صنعت جامعة شيكاغو البطارية الذرية الأولى.
١٩٤٦	ظهر الكومبيوتر الأول «إينياك» على يد مهندسي جامعة بنسلفانيا.
١٩٤٧	تركيب تيليسكوب بعدسة قطرها ٥ أمتار في مرصد «ماونت بالومار».

* تاريخ تقريبي.

١٩٥٥	رؤية الذرّات بواسطة الميكروسكوب، للمرة الأولى تاريخياً.
١٩٥٦	ظهور اللغة الأولى في برمجة الكومبيوتر «فورتران».
١٩٥٨	ابتكر الكومبيوتر الذي يعمل بالترانزستور بدلاً من اللمبات.
١٩٦٠	توصّل مايمان إلى أشعة الليزر.
١٩٦٩	نشر شبكة «أربانت» التي مهدت لظهور الانترنت.
١٩٧١	صنع المُعالج الالكتروني الدقيق في أميركا.
١٩٨٨	التمكن من انتاج أجزاء من نواة الخليّة مخبرياً من مواد غير حيّة.
١٩٩٠	الانتهاء من صنع تيليسكوب الفضاء «هابل». ظهور الشبكة العنكبوتية على يد بارنرز ـ لي.
١٩٩١	صنع ميكروسكوب الكتروني للتعرّف على تركيب المواد، من دون استخدام الضوء.
١٩٩٢	إطلاق قمر اصطناعي لرصد الأشعة في الخلفية العميقة للكون.

فهرس الأعلام

- م -

- ن -

فهرس الأماكن



ما يلفت في كتاب سيرل أيـدون «فضولية العلم» طريقته في الكتابة، التي تشبه «النصَ المُتَرابط» الإلكتروني للكومبيوتر والانترنت. وإذ يُقدم استعراضاً بانوراميا عن ألفي سنة من الإكتشافات العلمية، من مهوده الأولى في الصين والهند وبلاد الإسلام ومروراً بعصر النهضة وظهور العلم الحديث ومكتشفاته، فإنه لا يسير بالطريقة التقليدية. لا يكتب ذلك التاريخ من البداية في الماضي ووصولاً إلى الحاضر، بل إنه لا يتّبع تبويباً تقليدياً. ولا يتوزّع الكتاب على أقسام وفصول. يكتب أيدون تاريخ العلم فيوزّعه إلى كمية كبيرة من المعلومات المستقلة. إنه كتابة التاريخ بالمعلومة. ويشرح معلوماته بطريقة سهلة، بحيث لا يفترض أن القارئ لديه معلومات مسبقة عنها.

كما يحرص على جعل المعلومة «صغيرة» ومستقلة، لكي يهضمها القارئ من دون أن يضطر إلى قراءة ما قبلها أو متابعة ما بعدها!

وهكذا، يتحوّل تاريخ العلم إلى شرح لمفاهيم أساسية في العلم، تُعطي القارئ فرصة للتملك من اللغة الرائجة في الحديث عن العلوم. وبذا، يبسط المعلومات الأساسية التي تمكّن من فك «شيفرة» وأخبار العلم ونصوصه.

واستطراداً، فلربما شكّل الكتاب حدثاً ثقافياً بالنسبة للعالم العربي باعتباره نموذجاً أول بلغة الضاد عن هذه الطريقة في الكتابة. كما يطرح تحدّياً على النظام التعليمي العربي بأن يتغيّر من اعتماده تقليدياً على حفظ المعلومات، إلى نظام يهتم بشحذ الأذهان للتعامل مع المعلومات وفهم مدلولاتها والتفاعل معها.

كما يُعطي للمربّين العرب نموذجاً غير مألوف، بالنسبة لما يمكن أن يصير إليه تدريس العلوم، خصوصاً في المدارس والثانويات، في ظلّ ثورة المعلوماتية. وإذ جعل الكومبيوتر مسألتي الوصول إلى المعلومة وتوافرها خلف ظهر النظام ا
فقد بات مُلحّاً أن يتغيّر ذلك النظام لكي يعطي اهتمامه إلى فهم المعلومات
معها أولاً. وعلى رغم ذلك (أو ربما بسببه)، فإن التسلية والإمتاع هم
عرض الحقائق العلمية التي يعالجها هذا الكتاب.

ISBN 978-1-85516-675-2

